



MESA
BIODIVERSIDAD

**Biodiversidad
y cambio climático en Chile:**
Evidencia científica
para la toma de decisiones

Capítulo 5
**Cambio de uso
del suelo en Chile:
Oportunidades de
mitigación ante la
emergencia climática**



Capítulo 5

Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática



MESA
BIODIVERSIDAD

COMITÉ
CIENTÍFICO
DE CAMBIO
CLIMÁTICO

AUTORES

Coordinadores

Antonio Lara¹, Adison Altamirano^{2,3}.

Coautores

Alberto Alaniz⁴, Camila Álvarez^{1,5}, Miguel Castillo⁴, Mauricio Galleguillos⁴, Audrey Grez⁴, Álvaro Gutiérrez⁴, Jorge Hoyos-Santillán⁶, Daniela Manushevich⁷, Rose Marie Garay⁴, Alejandro Miranda^{4,5}, Enrique Ostria⁸, Fernando Peña-Cortés⁹, Jorge Pérez-Quezada^{4,10}, Armando Sepúlveda^{6,11}, Javier Simonetti⁴ y Cecilia Smith¹².

Revisores científicos

Francisco Meza^{13,14}, Carlos Zamorano¹⁵.

Editor científico

Ignacio A. Andueza Kovacevic¹³.

- 1 Universidad Austral de Chile
- 2 Universidad de La Frontera
- 3 Laboratorio de Ecología del Paisaje y Conservación
- 4 Universidad de Chile
- 5 Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)
- 6 Universidad de Magallanes
- 7 Universidad Academia de Humanismo Cristiano
- 8 Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)
- 9 Universidad Católica de Temuco
- 10 Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB)
- 11 Centro de Investigación Gaia Antártica (CIGA)
- 12 Universidad de Los Lagos
- 13 Pontificia Universidad Católica de Chile
- 14 Centro de Cambio Global (CCG)
- 15 Universidad de Aysén

Editor: Miguelángel Sánchez

Corrección de texto: Constanza Valenzuela

Diseño: www.negro.cl

Foto portada: Unsplash

Citar como:

Marquet, P. A., A. Lara, 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. Ostria, F. Peña-Cortés, 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.



PROCESO

La submesa Cambio de Uso del Suelo (CUS) tuvo como objetivo compilar y presentar en un informe la evidencia científica disponible sobre los cambios de uso del suelo y sus impactos en relación con las opciones de mitigación del cambio climático. Esta submesa contó con la participación de más de 30 científicos de diversas áreas de las ciencias ambientales, quienes aportaron a través de un proceso colaborativo a la redacción de este informe.

El trabajo consideró un primer taller el 10 de julio de 2019 en la Universidad Austral de Chile, en Valdivia, con 17 integrantes, para establecer temáticas y escala temporal y espacial. Consideró también la recopilación de evidencia científica en el contexto global y de Chile sobre cambio de uso del suelo y su relación con el cambio climático y su mitigación (247 documentos en total); además de la redacción de aportes individuales asociados a las respectivas áreas de experticia de los participantes. Luego, se elaboró un primer informe consolidado en versión borrador el 22 de julio, que fue revisado por dos revisores externos.

El segundo taller se llevó a cabo el 2 de agosto de 2019 en el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), en Santiago, con 12 integrantes, para la revisión y aprobación del borrador.

El tercer taller se celebró el 19 de agosto de 2019 en la Universidad Austral de Chile, en Valdivia, con nueve integrantes encargados de establecer un instructivo para aportes individuales finales y recomendaciones.

Los coordinadores estuvieron a cargo de los talleres, así como de la elaboración del primer borrador del informe y la consolidación final. La submesa contó además con un profesional que facilitó la ejecución de los talleres, coordinación de los integrantes y la edición de los informes. Cabe destacar que el trabajo y las propuestas de la submesa se hicieron con anterioridad a que el Gobierno sometiera las propuestas de actualización a las NDC a consulta pública el 15 de octubre de 2019.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Francisco Meza del Centro de Cambio Global UC y a Carlos Zamorano de la Universidad de Aysén, por la revisión y mejora sustantiva de una versión anterior de este informe. Se agradece también a Ignacio A. Andueza por su dedicación y apoyo en la coordinación de la submesa y en la edición de este informe.

Se agradece a la Universidad Austral de Chile y al Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), por el apoyo logístico en la organización de los talleres de la submesa.

El Comité Científico COP25 agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, al Ministerio del Medio Ambiente, a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y a la Unión Europea por el apoyo en distintas etapas del trabajo del Comité, las mesas y submesas.

Los contenidos de este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan necesariamente a sus universidades o centros de investigación de afiliación, ni a las instituciones aquí mencionadas.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen ejecutivo	6
Principios	6
Recomendaciones	6
Consideraciones finales	7
Contexto global	8
Contexto nacional.	12
Cambio de uso del suelo	12
Carbono	16
Incendios	18
Productos forestales no madereros, protección a través de la clasificación de especies en categorías de conservación y cultura.	19
Plantaciones forestales y bosques nativos	21
Conservación y restauración de bosque nativo para la mitigación en el largo plazo.	22
Servicio ecosistémico de provisión de agua	23
Costos sociales y ambientales de las medidas de mitigación.	24
Brechas de información y desafíos.	26
Propuestas de principios rectores	30
Encuesta.	30
Propuesta de principios para las NDC	31
Recomendaciones	35
Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierra como contexto	35
Propuesta de medidas para las NDC	35
Referencias.	40



FIGURAS

Figura 1. Distribución regional de los principales contribuyentes a la pérdida de bosque nativo en el período 1995-2016 13

Figura 2. Distribución geográfica de las áreas de estudio y contribución relativa a la pérdida de bosque nativo hacia otros usos del suelo. 14

Figura 3. Variación en escorrentía anual bajo diferentes combinaciones de especies arbóreas. 24

TABLAS

Tabla 1. Carbono almacenado en ecosistemas de Chile. 10

Tabla 2. Superficie de bosque nativo por región. 12

Tabla 3. Áreas de pérdidas de bosque nativo. 13

Tabla 4. Fijación (captura) de carbono en ecosistemas de Chile. 17

Tabla 5. Efectos del cambio de uso del suelo sobre el carbono almacenado en ecosistemas de Chile. 18

Tabla 6. Efectos del cambio de uso del suelo sobre la fijación (captura) de carbono en ecosistemas de Chile. 18

Tabla 7. Resultado de la encuesta sobre principios y medidas propuestas para las NDC. 30



Resumen ejecutivo

La submesa Cambio de Uso del Suelo (CUS) tuvo por objetivo la redacción y entrega de un informe que reuniera la evidencia científica disponible sobre cambio de uso del suelo, sus impactos, brechas de conocimiento y desafíos futuro. Esta información fue la base para hacer recomendaciones y propuestas sobre cómo hacer frente al cambio climático desde el sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (conocido también como uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, UTCUTS), y respecto de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de Chile para el sector UTCUTS en la COP25.

PRINCIPIOS

La submesa acordó una serie de principios basados en la evidencia científica que debían guiar las recomendaciones para las NDC:

1. Maximizar la captura y secuestro de carbono.
2. Asegurar que cualquier medida o incentivo considere una perspectiva de largo plazo, en que toda captura adicional de carbono se transforme en secuestro (almacenamiento permanente de carbono según la dinámica del ecosistema respectivo).
3. Minimizar las emisiones por pérdidas de cobertura vegetal asociadas a incendios, deforestación, otros cambios de uso de suelo y degradación de bosques, turberas, humedales y otros ecosistemas naturales.
4. Todas las regiones biogeográficas, ecosistemas terrestres, regiones administrativas y actividades del sector UTCUTS debieran aportar, según su potencial, al cumplimiento de las metas climáticas de Chile.
5. Estimar los compromisos (*trade-offs*), impactos negativos esperados de las medidas de NDC (reducción del albedo, provisión de agua, ecosistemas amenazados, biodiversidad, impactos sociales) e incorporar el análisis de ciclo de vida de los productos.

RECOMENDACIONES

Siguiendo estos principios, las principales recomendaciones para las NDC de Chile consideran:

1. Proteger de manera efectiva los ecosistemas naturales: bosques nativos, turberas, humedales y otros ecosistemas naturales, así como las plantaciones de especies nativas con una cobertura permanente para la restauración ecológica. De especial relevancia es la protección de los bosques nativos intactos que no han sido intervenidos o han sido muy poco impactados por la acción antrópica, junto con los bosques ribereños, los cuales son clave para mantener el servicio ecosistémico de provisión de agua en calidad y cantidad.
2. Restaurar y manejar los ecosistemas naturales mediante el manejo sustentable del bosque nativo (limitado a renovales) con fines de restauración, y la recuperación de bosques nativos, humedales y turberas degradadas mediante restauración ecológica.



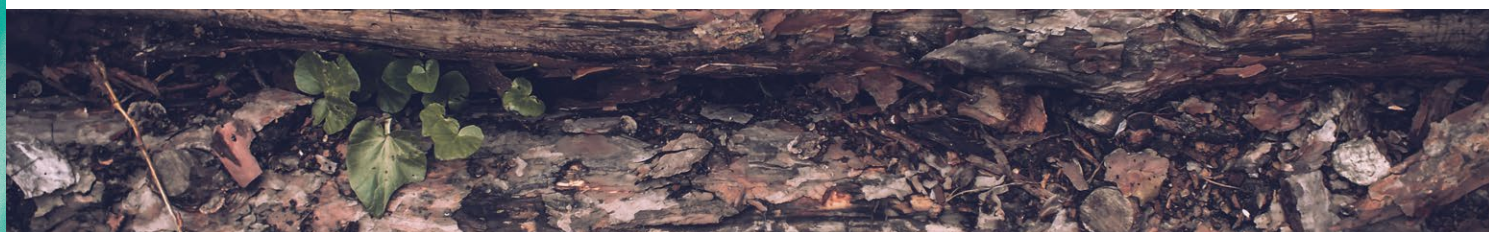
3. Minimizar las emisiones por pérdidas de cobertura vegetal a partir de la situación actual. Una medida urgente y de gran relevancia a incluir en las NDC es prohibir las quemas agrícolas en todas las regiones del país y épocas del año. Además, incluir metas y acciones para mejorar las prácticas agrícolas y de cosecha a tala rasa de las plantaciones para evitar la erosión del suelo.
4. Conservar los humedales, en que destacan las turberas en Magallanes y Aysén, los bofedales de gran relevancia en la zona altiplánica entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo, vegas, humedales de juncáceas y ciperáceas, bosques pantanosos y hualves. Se recomienda incorporar a las NDC su protección para poner fin a su intervención, degradación y conversión a otros usos del suelo.
5. A partir de lo anterior, se elaboraron propuestas de medidas específicas para las NDC en tres ámbitos:
 - › *Protección y recuperación.* Perfeccionar el manejo de las plantaciones forestales y paisajes dominados por ellas, y tomar otras medidas con el objetivo de reducir las tasas de ocurrencia de incendios (principal causa de emisiones del sector UTCUTS) a un promedio de 60.000 ha anuales para la década 2020-2030 para cada uso del suelo en las diferentes regiones y para el total.
 - › *Fomento.* Diseñar e implementar un Plan de Restauración y Conservación de Ecosistemas (2025-2055) con expresión espacial a escala comunal y un presupuesto anual de al menos US\$ 250 millones con un crecimiento de 5% anual, con prioridad en los propietarios de menores recursos, y avanzar en corregir las inequidades en el medio rural.
 - › *Conocimiento.* Chile se compromete a 2025 a constituir, por medio de Conaf, un panel de expertos en el cual participe el coordinador del equipo del Instituto Forestal a cargo del sector UTCUTS del Inventario Nacional de GEI, además de especialistas de diferentes instituciones gubernamentales, académicas, consultores y organizaciones de la sociedad civil.

CONSIDERACIONES FINALES

El ciclo del carbono no solo es importante desde un punto de vista biogeoquímico, pues el flujo de este elemento influye en la vida de las personas y sus diversas actividades cotidianas, en especial de comunidades rurales y de aquella población más empobrecida y vulnerable. Por lo tanto, el mantener, potenciar y maximizar la función de sumidero de los ecosistemas considerados de carácter estratégico a lo largo de este documento se debe considerar como una acción prioritaria que se sobrepone a cualquier interés económico. Son relevantes en este contexto tanto el cambio de uso del suelo a través de la conversión, por ejemplo, de bosques nativos a praderas o terrenos agrícolas, o de humedales a áreas urbanas, como la degradación de ecosistemas, ya que atentan en forma directa contra el cumplimiento de las metas climáticas que el Gobierno de Chile ha establecido.

La conservación, manejo y restauración de los ecosistemas y el resguardo de la biodiversidad son la base para la mantención de servicios ecosistémicos como la regulación climática a través de la captura y secuestro de carbono, la provisión de agua en cantidad, calidad y regulación de flujos, y la mantención de la fertilidad del suelo, entre otros. Estos servicios deben ser garantizados por el Estado porque son la base para la vida, la habitabilidad de los territorios, los sistemas productivos y el bienestar social. Esto es cierto en particular para los sectores sociales más vulnerables ante el cambio de uso del suelo y el cambio climático, que han sufrido históricamente de inequidades por su origen rural, racial, condición de clase social o de género, atentando en contra de sus derechos humanos.

Todo lo anterior es condición para el crecimiento y el desarrollo económico. La efectividad y eficacia para lograr los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) y las metas climáticas del país dependerán de un nivel de coordinación mayor al que en la actualidad existe entre los diferentes organismos del Estado, la empresa privada, las organizaciones de la sociedad civil, las ciencias, los tomadores de decisiones y los ciudadanos en su conjunto.



Contexto global

La pérdida sistemática de bosques es un fenómeno permanente a nivel global (Hansen *et al.*, 2013). Además de su reducción en superficie, los bosques remanentes están fragmentados, lo cual conlleva a un aislamiento de las poblaciones y a una pérdida de biodiversidad, sobre todo nativa, y sus servicios ecosistémicos, como por ejemplo el secuestro de carbono (Haddad *et al.*, 2015).

La fragmentación del hábitat, entendida como su división en fragmentos más pequeños y aislados entre sí, separados por una matriz de paisajes transformados por el ser humano (Haddad *et al.*, 2015), genera efectos en cascada en la biota, el funcionamiento del suelo y las emisiones de dióxido de carbono (Flores-Rentería *et al.*, 2018). La matriz en la cual se ubican los fragmentos de bosques y otros ecosistemas naturales está formada por diferentes usos de suelo, como agricultura, ganadería y plantaciones forestales (Lindenmayer y Fisher, 2006).

El cambio de uso y cobertura de suelo es una de las causas más importantes de pérdida de la biodiversidad a nivel global (Keith *et al.*, 2013). Si bien esta ha sido la causa principal de extinción de especies, la generación de políticas que limiten el cambio de uso del suelo para propiciar el mantenimiento de la biodiversidad no ha sido prioridad (Alaniz *et al.*, 2019a).

La mayoría de las políticas que apuntan a la conservación de la biodiversidad a nivel internacional están basadas en áreas silvestres protegidas y se enfocan sobre todo en la protección de especies (Keith *et al.*, 2015). La importancia global de la preservación de coberturas vegetales y de sistemas naturales funcionales llevó a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, por sus siglas en inglés) a generar directrices para establecer categorías de amenaza a nivel de ecosistemas (Keith *et al.*, 2013, 2015). Estos lineamientos se presentan mediante la Lista Roja de Ecosistemas (LRE), la cual corresponde a un marco global para monitorear y documentar su situación. El avance en este tipo de instrumentos que consideran un componente espacialmente explícito para los ecosistemas (Keith *et al.*, 2013) busca facilitar el proceso de desarrollo y generación de políticas en el ámbito del ordenamiento territorial.

Lo anterior cobra importancia cuando se sopesan los catastros internacionales sobre cobertura de ecosistemas y sus niveles de perturbación o degradación. Se estima que menos del 20% de los bosques del mundo se encuentran intactos (Potapov *et al.*, 2017), es decir, que no han sido intervenidos por acciones humanas directas como la tala industrial, la urbanización, la agricultura y la infraestructura (Watson *et al.*, 2018), actividades relacionadas con el ordenamiento del territorio. La degradación es un proceso antrópico que genera pérdida de biodiversidad, productividad y estructura de los bosques (Ghazoul *et al.*, 2015).

A pesar de la importancia de los bosques intactos del mundo, su tasa de conversión y degradación ha aumentado en las últimas décadas (Potapov *et al.*, 2017; Watson *et al.*, 2018), debido a que las definiciones utilizadas para estas unidades no distinguen en forma adecuada los bosques intactos de los bosques jóvenes (Mackey *et al.*, 2015; Potapov *et al.*, 2017), e incluso no distinguen entre bosques adultos degradados e intactos, lo que limita la eficiencia de políticas que restrinjan su conversión (Chazdon *et al.*, 2016; Mackey *et al.*, 2015). Los bosques intactos juegan un rol excepcional en la mitigación del cambio climático, dado que almacenan mayores cantidades de carbono que otras coberturas forestales, además de continuar secuestrando en forma activa carbono de la atmósfera, manteniendo su rol de sumideros (Watson *et al.*, 2018).

A nivel global, la incertidumbre en la evaluación de la superficie de bosques nativos sigue siendo un desafío, en especial la diferenciación a gran escala entre los bosques naturales de las plantaciones forestales (Curtis *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2016). Esto a su vez afecta las estimaciones mundiales sobre la dinámica de pérdida de los primeros. Un caso de esto es el reporte FAO (2015), el que destaca un incremento de la cobertura forestal a nivel planetario, ya que incluye tanto bosques naturales como plantaciones. Esta tendencia se debe



a una definición operacional de bosque, la cual se basa solo en su estructura (altura de los árboles, cobertura de sus copas y superficie que ocupan). Dada esta definición, una plantación comercial es equivalente a un bosque natural nativo, consideración que genera serias limitaciones en la gobernanza de nuestros paisajes y al momento de diseñar instrumentos de mitigación que sean compatibles con metas ambientales y sociales.

En contraste con lo anterior, otros estudios —como el desarrollado por Hansen *et al.* (2013)— estiman una tendencia opuesta, con una pérdida de bosques neta global de 1,5 millones de km² entre los años 2000 y 2012. Este estudio representa el mayor esfuerzo internacional para estimar el balance de la superficie de los bosques, el cual se desarrolló a partir de una base de datos global para el período 2000-2013, actualizada recientemente hasta el 2017. Dadas las limitaciones de información y técnicas de procesamiento de imágenes de Hansen *et al.* (2013), no es posible diferenciar si la disminución del área con cobertura forestal corresponde a pérdida de bosques naturales o cosecha a tala rasa de plantaciones forestales.

Durante los años 2001 a 2015 se perdieron a nivel mundial entre 3,5 y 6,5 millones de hectáreas de bosques por año. La principal causa fue la pérdida permanente para producción de productos primarios o *commodities* como granos, carne o fibras vegetales, además de energía y minería (27 %), seguida por la producción forestal (26 %), agricultura no permanente (24 %) e incendios (23 %) (Curtis *et al.*, 2018). El retroceso de los bosques primarios a nivel global ha generado una pérdida importante de los servicios ecosistémicos que proveen, como el secuestro de carbono y la mantención de la biodiversidad (Gibson *et al.*, 2011; Mackey *et al.*, 2013).

Los incendios en particular se han convertido en un complicado panorama a nivel planetario en lo que respecta a la pérdida de superficie de bosques. Estos eventos en las zonas de contacto entre áreas urbanas y rurales son cada día más importantes a nivel global, y están causando la muerte de personas, pérdidas económicas, daño a la infraestructura y actividades productivas, además de daños a los ecosistemas aledaños y a las ciudades cuando los incendios se originan en las áreas urbanas más densas. Esto habla de una problemática de cambio de uso del suelo que se presenta como un dilema multidimensional que afecta aspectos sociales, económicos y ambientales.

Grandes incendios forestales se han desencadenado a partir del último tercio del siglo XX. Las consecuencias son diversas, entre las cuales se encuentran el abandono del medio rural, la drástica reducción del pastoreo y del aprovechamiento de leña, y el abandono de cultivos marginales. Esto último ha dado lugar a paisajes con gran cantidad y continuidad de combustibles vegetales inflamables, en un entorno climático cada día más seco y favorable para la propagación del fuego. Solo en las dos últimas décadas se ha conseguido reducir el promedio de superficies quemadas en los países del sur de la Unión Europea gracias a enormes inversiones públicas en prevención, vigilancia y sobre todo en medios de extinción.

La gestión de riesgo de desastres en las zonas de interfaz urbano-rural ha sido abordada en diferentes países donde los incendios forestales son un gran problema, como es el caso de Chile. En este contexto se han creado normas como la AS3959 de Australia, y las NFPA 1.141 y 1.144 de Estados Unidos. En ellas se vincula y clasifica el suelo según zonas de prioridad de protección y se exige, en consecuencia, que las edificaciones cumplan con características apropiadas para asegurar el tiempo suficiente de evacuación y vías de evacuación para los habitantes. A nivel internacional, entre la normativa más relevante de mencionar en protección de edificaciones está el «estándar australiano» para la construcción de edificios en áreas propensas a incendios forestales. Este estándar define seis niveles de ataque en áreas forestales (BAL): BAL-LOW, BAL-12.5, BAL-19, BAL-29, BAL-40 y BAL-FZ. Estas categorías se basan en los umbrales de exposición al flujo de calor de las áreas de riesgo de incendios forestales, para lo cual es relevante su cumplimiento para la construcción en zonas de peligro y el establecimiento de vías expeditas para la evacuación e ingreso de las brigadas de combate de incendios, entre otros.

Las grandes «limpiezas» de territorios que el ser humano ha llevado a cabo a lo largo de su historia utilizando el fuego como herramienta corresponden, en términos climáticos, a enormes liberaciones de dióxido de carbono hacia la atmósfera. La influencia de los incendios forestales no debe ser considerada únicamente desde una visión social y económica, sino también ambiental, debido a la enorme capacidad de perturbar los balances de carbono de los países que sufren estos eventos, como lo demuestran Aragao *et al.* (2018) para el caso de Brasil, con incendios que produjeron liberaciones masivas de carbono, mayores a las generadas por concepto de deforestación para un mismo período.

El aumento sostenido de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera desde la Revolución Industrial ha alcanzado una tasa cien veces mayor de lo ocurrido hacia el final de la última glaciación, de acuerdo con las observaciones de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos



(NOAA).¹ Este aumento se caracteriza por una gran variabilidad interanual, que resulta principalmente por el secuestro de CO₂ a través de la productividad primaria de los ecosistemas terrestres (Ahlström *et al.*, 2015), la cual varía según el tipo de región biogeográfica. Así, en los sistemas de bosques tropicales y templados siempreverdes domina la función de sumidero de carbono, que representa áreas de alta productividad.

Los ecosistemas naturales tienen gran capacidad de secuestro de carbono (IPCC, 2019) debido a la acumulación de biomasa aérea y subterránea, junto con el depósito de materia orgánica que se acumula en el suelo. Bosques, turberas y bofedales son particularmente importantes dentro del ciclo global del carbono. Para el año 2000, de acuerdo con el Global Forest Watch del World Resources Institute, los bosques cubrían 29 % de la superficie terrestre (WRI, 2001), con los bosques templados húmedos (por extensión) como los que acumulan mayor biomasa en comparación con los tropicales y boreales (Keith *et al.*, 2009). Para el caso de Chile se ha estimado que los bosques adultos almacenan entre 470 a 1.070 t C ha⁻¹ (toneladas de carbono por hectárea) y las turberas hasta 1.680 t C ha⁻¹, considerando biomasa aérea y subterránea (Tabla 1).

Tipo de vegetación	Zona	t C / ha	Referencias
Matorral esclerófilo costero	Coquimbo	36,5	Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2011)
Bosque maulino (solo biomasa aérea)	Maule	269 -360	Pedrasa (1989), Gómez (1976)
Bosque siempreverde costero joven	Los Lagos	193-255	Schlegel (2001)
Bosque siempreverde joven (<100 años)	Chiloé	100-500	Gutiérrez (2010)
Bosque coigüe de Magallanes		216	Silva (1997)
Bosque siempreverde andino adulto	Los Lagos	472-662 (30 % en el suelo)	Schlegel (2001)
Bosque siempreverde costero	Los Lagos	424	Schlegel (2001)
Bosque de alerce (1.300 años) (solo biomasa aérea)	Los Lagos	450-520	Urrutia-Jalabert <i>et al.</i> (2015)
Bosque siempreverde adulto (solo biomasa aérea)	Chiloé	370-720	Gutiérrez (2010)- Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2015)
Bosque siempreverde adulto	Chiloé	1.062 (72 % en el suelo)	Pérez-Quezada (2017)
Turbera antropogénica	Chiloé	130	Cabezas <i>et al.</i> (2015)
Turberas glaciares	Patagonia	1.680 ± 10 %	Loisel y Yu (2013)

Tabla 1. Carbono almacenado en ecosistemas de Chile. En los casos en que el secuestro incluya solo una parte de los reservorios, se indica entre paréntesis en la columna de tipo de vegetación.

Mientras la mayoría de los ecosistemas dejan de incrementar su acumulación de carbono cuando alcanzan su estado de madurez, las turberas pueden seguir acumulando por siglos (IPCC, 2019). Por su parte, los bosques antiguos también pueden continuar siendo sumideros de carbono al secuestrar este elemento y almacenarlo por largos períodos. Esta condición depende de la etapa sucesional del bosque, su estructura y las especies que lo componen (Luyssaert *et al.*, 2008). Se ha estimado que las turberas, que cubren solamente 4 a 5 % de la superficie terrestre, almacenan sobre 610 Gt (610.000 millones de toneladas) de carbono (Page *et al.*, 2011), lo que equivale a un tercio del carbono contenido en los suelos del mundo (Gorham, 1991).

Debido a esto, las turberas han sido definidas como uno de los ecosistemas más importantes en el secuestro de carbono planetario (Joosten y Clarke, 2002). Se estima que los humedales, que incluyen diversos ecosistemas —entre ellos las turberas—, son sumideros netos de carbono, que capturan hasta 830 millones de toneladas de carbono al año con un promedio de 118 g C m⁻² año⁻¹ (Mitsch *et al.*, 2012).

Las estimaciones más precisas de la superficie total de turberas del mundo mantienen un alto nivel de incertidumbre (Leifeld y Menichetti, 2018; Sjögersten *et al.*, 2014). Esto se debe en parte a la dificultad de acceder a estos ecosistemas, así como a las dificultades logísticas asociadas al trabajo de campo requerido para estimar depósitos de carbono subsuperficial en ellos (Lawson *et al.*, 2015). Por otro lado, la tasa acelerada de degradación de turberas debido a drenaje, cambio de uso del suelo, invasión de especies exóticas y explotación dificulta las estimaciones adecuadas de cobertura y depósitos de carbono subsuperficial a nivel mundial en el mediano y largo plazo.

Dentro de otras zonas biogeográficas se encuentran los ecosistemas áridos y semiáridos, los cuales tienen gran influencia en la variación interanual de la productividad primaria global al aportar entre 39 % a 65 % de esta variabilidad (Ahlström *et al.*, 2015; Poulter *et al.*, 2014). Lo anterior se explica principalmente por la sensibilidad de estos ecosistemas al efecto de años húmedos y años secos (Huxman *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2019). En especial, bajo condiciones ambientales que varían entre normales y más húmedas y templadas, los ecosistemas semiáridos se comportan como sumidero. Aun durante años secos que limitan la actividad

¹ «CO₂ at NOAA's Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 ppm», Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos, 10 de mayo de 2013, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/news/7074.html>.

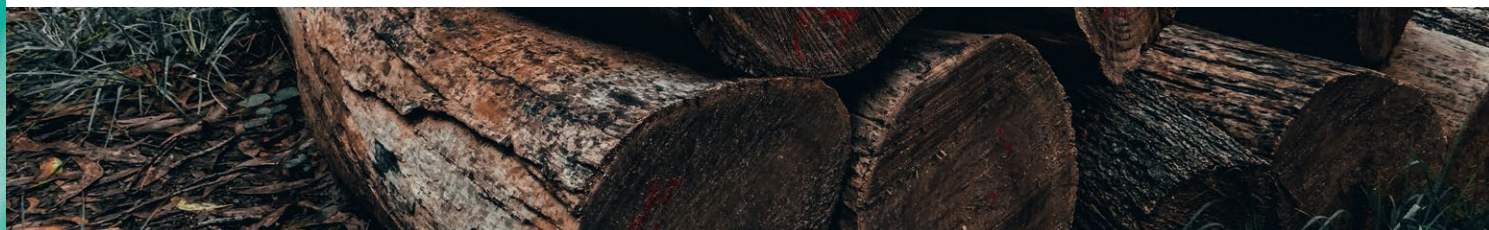


fotosintética, los ecosistemas semiáridos pueden seguir funcionando como sumideros de carbono. Esto ha sido documentado mediante el uso de un sistema de flujo *eddy covariance* para las sabanas de *Acacia caven* en la zona mediterránea de Chile Central, donde se registraron balances de carbono de -53 g C m^{-2} en 2011 y -111 g C m^{-2} en 2012, caracterizados como años de importantes déficits hídricos (Meza *et al.*, 2018). Otro estudio reportó que, en condiciones de sequía y aumento de temperatura, el balance de carbono indicaría que determinados ecosistemas semiáridos estarían actuando como fuentes de carbono (Zhao *et al.*, 2019).

Es así como el aumento de la temperatura en ecosistemas áridos y semiáridos limita la fijación del carbono por parte de la comunidad microbiana y vegetal, y favorece la liberación de carbono por procesos de respiración (Wang *et al.*, 2019). Considerando las tendencias climáticas actuales y que estos ecosistemas cubren el 45 % de la superficie terrestre, su contribución a la variabilidad en la dinámica del carbono a nivel global (emisión y captura) ha sido significativa durante las décadas recientes (Ahlström *et al.*, 2015).

Respecto de la intervención antrópica sobre los diversos ecosistemas y su efecto en el balance de carbono a escala global, un estudio reciente comparó la reserva actual de carbono en la vegetación (cerca de 450 Gt C) con un máximo hipotético sin cambio de uso del suelo (916 Gt C). Esta investigación determinó que 53 % a 58 % de la pérdida de carbono se atribuye a cambios de uso de suelo como la deforestación, mientras que entre el 42 % y el 47 % se debe a efectos del manejo de los bosques (disminución del almacenamiento de carbono sin cambio de uso del suelo) (Erb *et al.*, 2018).

Debido a la pérdida de bosques naturales, hoy es urgente su restauración a escala global. Estos ecosistemas representan la mejor opción para el cumplimiento de las metas climáticas al considerar la necesidad de secuestrar el carbono atmosférico de forma costo eficiente (Bastin *et al.*, 2019) y los múltiples servicios ecosistémicos que los bosques proveen, como la regulación del ciclo hidrológico, conservación de la biodiversidad, prevención de la erosión, turismo y servicios culturales, entre muchos otros.



Contexto nacional

CAMBIO DE USO DEL SUELO

A lo largo de la historia de Chile, los bosques han jugado un rol fundamental para el desarrollo cultural, social y económico del país. Sin embargo, la forma en la cual se han utilizado ha gatillado la deforestación de terrenos antes cubiertos por bosques primarios, su degradación producto de la corta no sustentable de árboles para la producción de madera y leña, o la sustitución de bosques primarios por cultivos agrícolas y forestales extensivos (Armesto *et al.*, 2010; Camus, 2006).

Se estima que la superficie original de los bosques nativos que cubrían el país a la llegada de los españoles se ha contraído en más de 50 % (Lara *et al.*, 2012). De la superficie remanente, 45 % son bosques maduros que albergan los bosques primarios e intactos de Chile (Conaf, 2015), y al menos un estudio ha demostrado que cerca de la mitad de los bosques maduros chilenos presenta algún grado de alteración (Gutiérrez, Díaz-Hormazábal y Chávez, 2017). En este sentido, el recurso forestal nativo de Chile presenta altos niveles de perturbación y degradación, situación que puede variar fuertemente según región y tipo forestal analizados.

El organismo que por ley está a cargo de llevar un catastro actualizado del bosque nativo de Chile es la Corporación Nacional Forestal (Conaf) (Ley 20.283 de 2008). Sus estimaciones respecto de la cobertura forestal son las que alimentan el reporte global de la «Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales» (FRA, por su sigla en inglés) de FAO. En la actualidad no se tiene una estimación robusta del área de bosque nativo en Chile, ya que las estimaciones oficiales difieren de las hechas por estudios científicos.

En 1999, el área oficial estimada y divulgada por Conaf era de 13,4 millones de hectáreas, cifra que para 2018 el organismo estimó en 14,6 millones de hectáreas, es decir, 1,2 millones y 7,5 % más en comparación (Conaf-Conama-BIRF, 1999; Conaf, 2019). Dichas diferencias se deben a los cambios reiterados en la metodología utilizada por Conaf, cambios en la cobertura mínima de los árboles para ingresar a la categoría de bosque nativo para algunas regiones (de 25 % a 10 %), y los diferentes períodos de actualización aplicados para cada región del país, los cuales no son coincidentes (Lara *et al.*, 2016). Por otra parte, la estimación oficial actual difiere de la efectuada por un estudio basado en imágenes satelitales que para 2017 estimó un área de 11,4 millones de hectáreas, es decir, 22 % menos que Conaf (Zhao *et al.*, 2016). El área para las regiones de Valparaíso a Los Lagos estimada por Heilmayr *et al.* (2016) también es inferior a la estimación oficial (Tabla 2).

Región	Conaf, (2019)	Heilmayr <i>et al.</i> (2016)	Zhao <i>et al.</i> (2016)
Arica y Parinacota	47.151		686
Tarapacá	33.246		9.480
Antofagasta	0		317
Atacama	0		967
Coquimbo	48.475		31.277
Valparaíso	484.116	81.980	94.780
Metropolitana	363.955	100.120	94.047
O'Higgins	459.309	163.870	182.118
Maule	581.515	363.552	463.034
Biobío y Ñuble	845.552	705.794	893.471
La Araucanía	964.153	1.018.944	992.927
Los Ríos	908.531	700.340	925.911
Los Lagos	2.827.436	2.283.448	2.515.712
Aysén	4.398.745		3.541.898
Magallanes y Antártica	2.671.594		1.675.219
Subtotal Valparaíso a Los Lagos	7.434.567	5.418.048	6.162.000
Total	14.633.778		11.421.844

Tabla 2. Superficie de bosque nativo por región. Fuente: Lara *et al.* (2019) a partir de las fuentes citadas (estimaciones de Conaf a noviembre de 2018).



A pesar de las diferencias en el área total de bosque nativo, las fuentes gubernamentales y académicas coinciden en documentar tasas importantes de destrucción y degradación del bosque nativo en Chile. Según las cifras oficiales de Conaf, en el período 1995-2016 ha habido una pérdida total de 242.500 ha (en promedio 11.500 ha anuales) que han sido reemplazadas principalmente por matorrales, plantaciones forestales y terrenos agropecuarios (Lara *et al.*, 2019). Otras fuentes han estimado esta pérdida promedio en 23.000 ha y 19.000 ha al año para el período total que va entre 1986 y 2011. Si se suman estas áreas de pérdida a aquellas afectadas por incendios y degradadas cada año por la ganadería, cortas selectivas (floreo) y otras causas informadas por Conaf, se llega a un total de 60.000 ha a 71.000 ha anuales durante las últimas dos o tres décadas (Lara *et al.*, 2019). En esta estimación es necesario considerar algún grado de superposición entre los diferentes factores, el cual no ha sido estudiado. Tampoco incluye las áreas en que el bosque nativo ha regenerado desde otros usos del suelo.

En cuanto a los usos del suelo hacia los cuales se ha convertido el bosque nativo por acción antrópica, según cifras oficiales, en el período 1995-2016 la mayor parte ha sido reemplazado por praderas y matorrales (47 %) o sustituido por plantaciones forestales (40 %), seguido de la habilitación hacia terrenos de uso agrícola (6 %) (Figura 1). Estos datos son consistentes con los presentados por Miranda *et al.* (2017), quienes señalan los usos del suelo hacia los cuales se ha transformado el bosque nativo entre 1990 y 2010: matorrales (47 %), plantaciones forestales (36 %), terrenos de uso agropecuario que incluyen praderas y cultivos (12 %) (Tabla 3). La conversión de bosques nativos a diferentes usos tiene una alta variabilidad interregional (Figura 2).

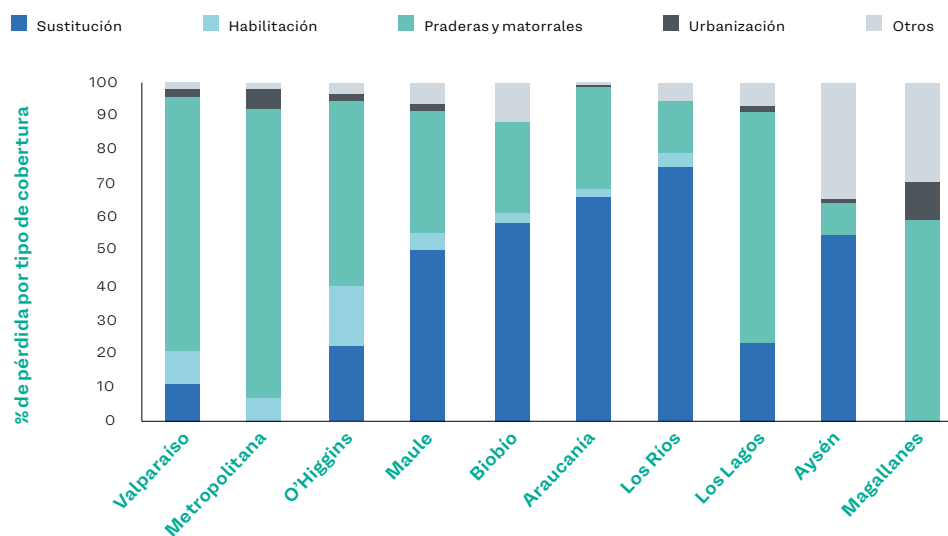


Figura 1. Distribución regional de los principales contribuyentes a la pérdida de bosque nativo en el período 1995-2016. La cifra indicada para la región de Biobío incluye la de Ñuble, región creada en 2018. Fuente: Lara *et al.* (2019) a partir de estimaciones del proyecto Monitoreo de Cambios y Actualizaciones del Catastro de Conaf y colaboradores para las diferentes regiones y períodos.



Período	Pérdida total (ha)	Sustitución por plantaciones	Reemplazo por matorrales	Habilitación agropecuaria y otros	Área anual de pérdida	Área anual afectada por incendios	Área anual degradada por ganadería, cortas parciales y otras causas (2001-2010) (Conaf, 2016)	Área anual total de pérdida, afectada por incendios y degradada	Fuente
1995-2016	242.459	40 %	47 %	12 %	11.546	9.752	38.381	59.679	Elaboración propia a partir de estimaciones de Conaf
1990-2010	452.017	36 %	45 %	19 %	22.600	10.249	38.381	71.230	Miranda et al. (2017)
1986-2011	484.000				19.360	11.808	38.381	69.549	Heilmayer et al. (2016)

Tabla 3. Áreas de pérdidas de bosque nativo. La pérdida anual para cada década no coincide con el total dividido por 10, ya que provienen de áreas de estudio con períodos de tiempo variables, los cuales han sido agrupados según la década a la cual se acerquen más. Este estudio compila los resultados de nueve estudios, que abarcan 36,5 % del área total de las regiones analizadas (Valparaíso a Los Lagos). Fuente: Lara et al. (2019) a partir de fuentes citadas.

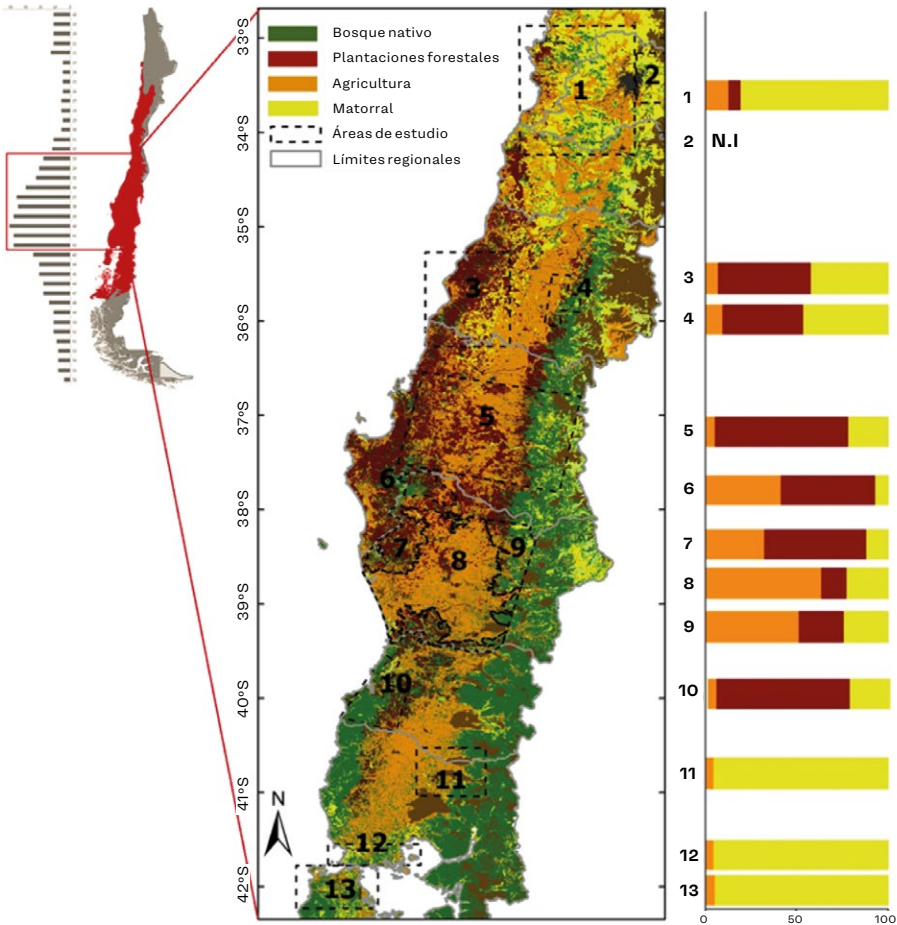


Figura 2. Distribución geográfica de las áreas de estudio y contribución relativa a la pérdida de bosque nativo hacia otros usos de la tierra. A la izquierda, se muestra el número relativo de especies de plantas vasculares por grado de latitud. Fuente: Miranda et al. (2017).



Además del cambio de uso del suelo, otro proceso importante que afecta la estructura, composición y función de los bosques nativos es la degradación por causas antrópicas. Las causas de degradación más comunes son la corta selectiva (floreo) y la ganadería (Lara *et al.*, 2016). La madera de las cortas selectivas está destinada en gran parte a la producción de leña en sistemas no sustentables, que en la actualidad es el principal producto del bosque nativo (Lara *et al.*, 2016). Para las regiones de Maule a Los Lagos, de manera oficial se ha estimado un total de 383.816 ha de bosques degradados en el período 2001-2010 (Conaf, 2016). Las unidades del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) y las áreas protegidas privadas también están expuestas a degradación por ganado. La degradación de bosques ha sido identificada como una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero, la que debe ser reducida a través de la restauración y recuperación de bosques, así como del uso de una carga animal controlada y manejo adecuado del ganado.

Otra amenaza de los bosques nativos es el aumento de su vulnerabilidad ante el cambio climático. Esto ha sido documentado para diversas regiones del planeta y para diferentes tipos de bosques en Chile, desde la zona mediterránea hasta la Patagonia y en áreas adyacentes de Argentina. Los impactos del cambio climático en los bosques nativos y visibles gracias a imágenes satelitales incluyen reducciones de crecimiento, disminución del verdor y vigor asociado (*browning*), aumento de daños en la copa y pérdida de follaje, mortalidad de parches completos, disminución del desempeño ecofisiológico, aumento del estrés hídrico y aumento de la intensidad del ataque de agentes bióticos (Lara *et al.*, 2019). La megasequía que está experimentando Chile Central desde 2010 ha causado una disminución sistemática en las reservas de agua en el suelo y las napas freáticas. Esto ha generado la disminución de la actividad fotosintética de los bosques nativos y matorrales de la ecorregión mediterránea, lo que se refleja en los índices de diferencia vegetacional normalizados (NDVI, por sus siglas en inglés) captados por imágenes satelitales (Garreaud *et al.*, 2017). Lo anterior está asociado a una mayor pérdida de agua por evapotranspiración sin que estas pérdidas sean balanceadas con la recuperación de la humedad de suelo por las precipitaciones invernales, que han sido muy escasas durante la megasequía, lo cual se ha visto agravado por las altas temperaturas (Garreaud *et al.*, 2017).

Numerosos estudios muestran, además, una severa fragmentación de las formaciones vegetacionales nativas. Para el caso de Chile Central entre Santiago y Valparaíso, el 35% del área de bosques esclerófilos se fragmentó entre 1973 y 2008 (Echeverría *et al.*, 2011). Esta tendencia al aumento de la fragmentación, la disminución del tamaño de los fragmentos y el aumento de la superficie de bordes de fragmentos es similar en casi todos los sitios estudiados en el país (Alaniz *et al.*, 2018; Carvajal *et al.*, 2018; Díaz, 2010; Jin *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2016; Zamorano-Elgueta *et al.*, 2015; Zegers *et al.*, 2019).

Existen algunas excepciones a los sitios de estudio anteriores. Estas excepciones se refieren al aumento de fragmentación y están constituidas por un área acotada de la precordillera en La Araucanía (Petipas, 2016), un área extensa en Aysén, que después de los masivos incendios de 1940 se recuperó en forma parcial (Bizama, 2011), y diferentes áreas en la zona central más o menos contenidas unas dentro de otras (Altamirano *et al.*, 2019; Castillo *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2016; Smith-Ramírez *et al.*, 2018). Estas tres excepciones hablan de que aún persiste la capacidad de resiliencia de algunos sistemas, entendida como la capacidad de autorrecuperación después de las perturbaciones, incluido el fuego. La principal causa de la fragmentación mencionada en estos estudios es de carácter antrópica, producida por la habilitación de terrenos agrícolas y por plantaciones forestales de especies de rápido crecimiento. En el caso de Díaz (2011), la fragmentación y pérdida de hábitat es producida por el avance de especies de plantas invasoras en la isla Robinson Crusoe.

Numerosos estudios han abarcado el efecto de la fragmentación sobre las especies amenazadas (catalogadas así por el Ministerio del Medio Ambiente o a juicio de los autores), y algunos estudios han considerado el efecto de la fragmentación sobre servicios ecosistémicos. El primer caso incluye varios estudios en el bosque maulino, en los cuales se ha encontrado que la fragmentación y la presencia de plantaciones de *Pinus radiata* tiene efectos negativos sobre la composición y riqueza de especies. Sin embargo, no sobre su abundancia en muchas ocasiones. Esto debido a que se produce un recambio de especies y muchas veces las generalistas de hábitats son las más abundantes, decreciendo las especies típicas de bosque antiguo (Acosta *et al.*, 2003; Bustamante-Sánchez *et al.*, 2004; Saavedra *et al.*, 2005; Vergara *et al.*, 2004).

Contrario a lo señalado en el párrafo anterior, otros estudios señalan que las plantaciones forestales que rodean estos fragmentos pueden sostener especies nativas, incluyendo especies amenazadas, cuando se permite el crecimiento de sotobosque (Cerdeira, Grez y Simonetti, 2015; Simonetti, Grez y Estados, 2013; para una revisión a nivel mundial, véase Simonetti, Grez y Estados, 2012). A partir de esto, puede inferirse que la mantención de sotobosque en plantaciones permite que puedan actuar como corredores biológicos para fauna y flora, lo cual es formalmente reconocido en el Protocolo de Plantaciones Forestales (Consejo de Política Forestal, 2017).



Otro aspecto relevante en la materia de cambio de uso del suelo es el ordenamiento del territorio y las políticas asociadas. El ordenamiento territorial es la base para que la sociedad pueda expresar sus aspiraciones en un marco político-administrativo concertado (Gómez y Gómez, 2013). En este ámbito, desde los años noventa, en un esfuerzo progresivo, Chile ha desarrollado diversas acciones en torno al ordenamiento del territorio. Este proceso se ha intensificado en el país a partir de su incorporación en la OCDE en el año 2010. Un hito importante, en el marco de estas acciones, fue la modificación al artículo 114 de la Constitución, que permitió la transferencia de competencias desde el nivel central a los gobiernos regionales (GORE), además de las modificaciones al artículo 111, que oficializa la elección popular de su órgano ejecutivo con la elección del gobernador regional (Ley 21.073). En efecto, la Ley 20.390 de octubre de 2009 modificó el artículo 114 de la Constitución (antiguo artículo 103) y dejó a la Ley Orgánica Constitucional respectiva. Estas modificaciones circunscriben las competencias que se pueden transferir a las regiones en materias de ordenamiento del territorio, como el fomento a las actividades productivas y el desarrollo social y cultural, y significan un avance hacia la implementación del ordenamiento territorial en la nación.

Los instrumentos de planificación territorial (IPT) se desarrollan a partir de lo establecido en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (Decreto con Fuerza de Ley 458) y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Decreto 47). En este proceso, se reconocen algunos hitos que han configurado el escenario nacional en materia de ordenamiento territorial. En 1990, la creación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama) implicó un importante avance en el reconocimiento de la institucionalidad ambiental. Luego en 1991, con la oficialización de la creación de los gobiernos regionales mediante la Ley Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional (LOCGR), se logró un hito significativo con el otorgamiento de competencias en ordenamiento territorial a los gobiernos regionales en su territorio.

En el año 2015, mediante el Decreto Supremo 34, se creó la Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio (Comicivyt), la cual tiene como funciones: i) proponer políticas sobre ordenamiento territorial y desarrollo rural; ii) elaborar políticas y modificaciones legales y reglamentarias respecto del desarrollo urbano; iii) coordinar las inversiones en infraestructura pública; iv) apoyar la ejecución de programas sectoriales; v) contribuir en el diseño y ejecución de grandes obras de inversión pública; vi) promover la coordinación de la gestión en materias de ciudad, infraestructura, vivienda y territorio; y vii) presentar al presidente de la República opciones para la adopción de decisiones en materias de ordenamiento territorial, desarrollo urbano y rural, y ejecución de infraestructura pública. De este modo, la Comicivyt sirve de instancia de coordinación en materias de políticas, planes y programas, con el objeto de tener incrementos significativos en los estándares de calidad de vida y reducir las brechas en materia de equidad urbana y territorial en Chile.

En la actualidad, con la modificación del artículo 17, letra a) de la LOCGR, se le otorgaría al Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) la facultad de pasar de un carácter indicativo a uno vinculante, lo cual implica en la práctica el cumplimiento obligatorio de los PROT para los servicios públicos que operan en cada región, es decir, deberán considerar lo que indica el instrumento en los planes y programas programáticos de fomento que apliquen en estas regiones (Ley 21.074 de febrero de 2018 y texto refundido de la Ley 19.175 de marzo de 2018) (Figura 1). Es importante considerar que el proceso de pasar de una planificación que ha sido eminentemente indicativa a una vinculante requiere ser gradual y progresiva, a partir de los diferentes mecanismos que deberán implementarse, como son —entre otros—, la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT) y los respectivos reglamentos que se generen en su desarrollo.

Todo lo señalado respecto de ordenamiento territorial y su relación con el cambio de uso del suelo se vincula en última instancia con el cuidado, conservación y protección de los ecosistemas nacionales. En Chile, el nivel de amenaza de los ecosistemas es bastante heterogéneo, en general se ha identificado a los ecosistemas de la zona central como los más amenazados y sensibles —por concepto de alta concentración de especies endémicas—, debido a las grandes presiones antrópicas de cambio de uso del suelo para cultivos o urbanización (Alaniz *et al.*, 2016; Plissock, 2015). Los bosques de la zona centro sur han experimentado una pérdida de superficie significativa, lo cual ha reducido el hábitat de sus especies de forma importante (Alaniz *et al.*, 2018; Carvajal *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2017). En particular, el bioma mediterráneo ha sido uno de los más afectados, dentro del cual destacan los ecosistemas costeros de bosque esclerófilo y los bosques premontanos de la Región Metropolitana, los cuales se encuentran en categorías como vulnerable, en peligro, y en peligro crítico, respectivamente (Alaniz *et al.*, 2016). Se han identificado once ecosistemas que se encuentran en categoría de amenaza en el bioma mediterráneo de Chile Central, con su causa de amenaza muy asociada al cambio de uso del suelo, sobre todo por plantaciones de especies exóticas, aumento de la frontera agrícola



e incluso expansión urbana (Alaniz *et al.*, 2016). Un ejemplo de resultado final del proceso de amenaza de un ecosistema es el colapso de la laguna Aculeo, que generó la desaparición completa del ecosistema debido a efectos sinérgicos del cambio climático y una mala gestión territorial (Alaniz *et al.*, 2019b).

En Chile, diferentes grupos de investigación han desarrollado LRE, llegando a resultados parcialmente similares (Alaniz *et al.*, 2016; Moncada, 2019; Pliscoff, 2015). Ello posibilita la generación de acciones y la priorización de aquellos ecosistemas que presentan los grados más elevados de amenaza. Por último, una reciente publicación de Alaniz *et al.* (2019) planteó claras opciones para implementar dicha herramienta en la política pública, con recomendaciones sobre cómo modificar o crear instrumentos de regulación utilizando la LRE. Este enfoque permite entrar a normar las actividades humanas, como cambio de uso del suelo, proyectos de inversión, derechos de agua y actividades productivas en aquellos ecosistemas que se encuentren en categoría de amenaza.

CARBONO

Los bosques nativos y turberas almacenan gran cantidad de carbono (Tabla 1): los bosques templados maduros pueden contener entre 200 y 1.000 t C ha⁻¹, mientras que las turberas pueden contener 1.680 t C ha⁻¹.

En cuanto a la fijación de carbono, estudios elaborados en nuestro país muestran que bosques siempreverde adultos de Chiloé fijan carbono a una tasa de 2,38 $\pm$ 0,31 t C ha⁻¹ año⁻¹, y que estos mismos bosques en estado joven pueden fijar hasta 7 t C ha⁻¹ año⁻¹. Otro estudio muestra que los bosques adultos de alerce pueden fijar hasta 4 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Ibaceta, 2019; Urrutia-Jalabert *et al.*, 2015; Valdés-Barrera *et al.*, 2019). En el caso de las turberas, un estudio desarrollado en turberas en la Patagonia similares a las existentes en Chile, mostró que pueden fijar hasta 0,33 $\pm$ 0,21 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 4).

Ecosistema	Zona	Flujo (t C / ha año)	Fuentes
Matorral de espino	Región Metropolitana	-0,53 a -1,11	Meza <i>et al.</i> (2018)
Bosque norpatagónico	Chiloé	-2,38	Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2018) y Valdés-Barrera <i>et al.</i> (2019)
Turbera antropogénica, uso para conservación	Chiloé	-0,37	Valdés-Barrera <i>et al.</i> (2019)
Bosque siempreverde joven	Los Lagos	-5 a -7	Gutiérrez (2010)
Bosque adulto de alerce	Los Lagos	-3,7 a -4,2	Urrutia-Jalabert <i>et al.</i> (2015)

Tabla 4. Fijación (captura) de carbono en ecosistemas de Chile. Los valores de flujos negativos significan captura.

En el caso específico de la región de Magallanes y la Antártica Chilena, se han hecho esfuerzos importantes por estimar de manera adecuada la distribución espacial de turberas (Pisano, 1977; Ruiz y Doberti, 2005). Además, recientemente se ha intentado evaluar la relevancia de las turberas de la región como depósitos de carbono de importancia mundial (Loisel, 2015). Las estimaciones actuales sugieren que la región cuenta con más de 2 millones de hectáreas de turberas (Domínguez y Vega-Valdés, 2015), las que pudieran contener cerca de 3.500 millones de toneladas de carbono subsuperficial. Estos depósitos se encuentran sujetos al impacto de actividades humanas directas (extracción de turba) e indirectas (introducción de especies invasivas como *Castor canadensis*).

De acuerdo con el Ministerio de Minería, la turba se considera una sustancia fósil cuya explotación puede ser concesionada (Ley 18.248, artículo 5). En la actualidad, existen cerca de 2.175 hectáreas concesionadas para extracción de turba en la región de Magallanes, de las cuales se extrajeron 4.383 toneladas durante 2017 (Sernageomin, 2017). Sin embargo, mediante la promulgación del Decreto Supremo 25 se han dispuesto medidas para la protección del musgo *Sphagnum magellanicum*, que representa un componente integral del 50 % de las turberas en la región. Las medidas de protección dispuestas consideran prácticas sustentables de extracción de turba, encaminadas a mitigar los impactos de la explotación comercial de *Sphagnum magellanicum*. Además, se ha observado que las alteraciones hidrológicas ocasionadas por la colonización de *Castor canadensis* en Tierra del Fuego podrían favorecer la degradación de las turberas subantárticas.

Los estudios sobre cambios de uso de suelo de bosques y turberas que se han hecho en Chile muestran una notable pérdida del carbono acumulado (Tabla 5). En el caso del cambio de uso, la pérdida es de 11 % a 59 % del carbono del ecosistema, mientras que los incendios generan pérdidas de 88 % a 96 % de carbono. Del mismo modo, los cambios de uso del suelo generan un cambio en la fijación anual en los ecosistemas (Tabla 6). El cambio de uso de un bosque templado en Chiloé a una turbera antropogénica (originada por un incendio) significó una disminución de 85 % de la fijación de carbono, mientras que el uso agrícola (pastoreo y cosecha de musgo) de este tipo de turbera significó una disminución de 76 % adicional. El cambio de este



mismo tipo de bosque a matorral y pradera aumentó la fijación en 34 %. Sin embargo, hay que tener en cuenta la disminución del carbono almacenado por este cambio de uso del suelo. Si este tipo de bosques pasan a ser suelo agrícola, dicha sustitución de la cobertura boscosa generará una liberación masiva de carbono, y la pérdida de un sumidero y potencial secuestrador de carbono.

Uso original	Cambio de uso	Tasa de cambio	Fuentes
Matorral esclerófilo costero (Coquimbo) (36,5 t C ha ⁻¹)	Plantación con <i>Acacia saligna</i> de 3 años (21,1 t C ha ⁻¹)	-42 %	Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2011)
Turbera antropogénica conservación (Chiloé) (130 t C ha ⁻¹)	Turbera antropogénica uso agrícola (115 t C ha ⁻¹)	-11 %	Cabezas <i>et al.</i> (2015)
Bosque siempreverde (solo árboles) (Chiloé) (190 t C ha ⁻¹)	Bosque quemado (7,7 t C ha ⁻¹)	-96 %	Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2015)
Bosque norpatagónico (Chiloé) (1.062 t C ha ⁻¹)	Turbera antropogénica por incendio (130 t C ha ⁻¹)	-88 %	Pérez-Quezada (2017) y Cabezas <i>et al.</i> (2015)
Bosque norpatagónico (Chiloé) (1.062 t C ha ⁻¹)	Praderas y matorrales pastoreados (439 t C ha ⁻¹)	-59 %	Cano (2019) y datos inéditos

Tabla 5. Efectos del cambio de uso del suelo sobre el carbono almacenado en ecosistemas de Chile. Los valores de tasas negativas significan disminución del reservorio de carbono.

Uso original (flujo)	Nuevo uso (flujo)	Tasa de cambio	Fuentes
Bosque norpatagónico en Chiloé (-2,38 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Turbera antropogénica por incendio (-0,37 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	-85 %	Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2018) y Valdés-Barrera <i>et al.</i> (2019)
Turbera antropogénica, uso de conservación en Chiloé (-0,37 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Turbera antropogénica uso agrícola (-0,09 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	-76 %	Valdés-Barrera <i>et al.</i> (2019)
Bosque norpatagónico en Chiloé (-2,38 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Praderas y matorrales (-3,19 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	+34 %	Ibaceta (2019) y Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2018)
Bosque norpatagónico en Chiloé (-2,38 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	Cultivos (1,02 t C ha ⁻¹ año ⁻¹)	-143 %	Ibaceta (2019) y Pérez-Quezada <i>et al.</i> (2018)

Tabla 6. Efectos del cambio de uso del suelo sobre la fijación (captura) de carbono en ecosistemas de Chile.

Los estudios sobre el flujo de carbono y en particular de dióxido de carbono en los ecosistemas áridos y semiáridos de Chile son escasos. Azua-Bustos *et al.* (2017) hicieron una revisión de investigaciones acerca de la dinámica del ciclo del carbono en la zona más árida del desierto de Atacama, en las que destaca el rol de los tapetes y costras microbianas en el flujo de carbono en este ecosistema hiperárido. Los autores proponen una serie de hipótesis para cuantificar el flujo de carbono y los mecanismos fisiológicos y moleculares que subyacen la fijación y liberación de carbono en este ecosistema. Por otro lado, Jorquera-Jaramillo *et al.* (2015) reportaron resultados de la aplicación de un protocolo para restaurar ecosistemas semiáridos degradados de la región de Coquimbo, con el fin de disminuir los efectos de la desertificación. El protocolo involucró un enfoque transversal y multidisciplinario que incluyó tomadores de decisiones, personal científico y técnico, y pobladores locales. Los autores reportan efectos positivos de la aplicación del protocolo sobre variables biofísicas indicadoras de desertificación, pues mejoró la estabilización del suelo y disminuyó el escurrimiento de agua por las pendientes. Ambas variables tendrían un efecto positivo sobre la fijación de carbono, según lo expuesto en la sección anterior, aunque en la actualidad se limita a un supuesto que debe ser cuantificado.

INCENDIOS

Junto con la sistemática disminución de los regímenes hídricos de una gran parte del territorio nacional, el aumento de las temperaturas y otros efectos asociados al cambio climático, los incendios forestales se han posicionado como una de las principales amenazas para los bosques nativos y plantaciones forestales del país. En este sentido, el crecimiento económico y la legislación actual en materia de protección contra incendios forestales no van en concordancia con el aumento de la vulnerabilidad y condición de peligro de los bosques nativos frente al impacto de los incendios forestales (González *et al.*, 2018).

Los incendios ocurridos en 2017 en la zona mediterránea de Chile produjeron enormes pérdidas económicas y daños al funcionamiento ecológico de ecosistemas, que si bien están adaptados a la presencia del fuego, tienen límites de resiliencia que fueron notoriamente superados por las características de intensidad y severidad de los daños (González *et al.*, 2018). Estos enormes incendios se desarrollaron bajo condiciones ambientales de comportamiento extremo (Bowman *et al.*, 2018), favorecidos por la prolongada condición de



sequía que ha afectado al país en la última década, junto con el aumento de las condiciones de peligro, en especial por la acumulación de combustible forestal seco y factores de continuidad espacial de bosques y plantaciones que permitieron el rápido avance de las llamas.

En tan solo tres semanas de 2017 se consumieron cerca de 460.000 hectáreas, lo que equivale a más de siete veces el promedio anual en un período de ocho meses de incendios forestales. En toda la temporada de incendios se quemaron 575.000 hectáreas de vegetación. Por lo mismo, los incendios forestales se consideran en la actualidad como una de las presiones emergentes más importantes, sobre todo en los ecosistemas esclerófilos y templados de la zona costera (Carvajal y Alaniz, 2019). En los últimos 18 años, el 50,6 % de los incendios ocurridos en remanentes de bosque costero del bioma mediterráneo correspondió a ecosistemas amenazados (Carvajal y Alaniz, 2019). Por otro lado, los remanentes de bosque más afectados por los incendios forestales del verano de 2017 correspondían a ecosistemas en peligro y en peligro crítico (Carvajal y Alaniz, 2019). Estos incendios generaron además pérdidas importantes en términos de los servicios ecosistémicos producidos por dichos bosques (De la Barrera *et al.*, 2018).

Estudios del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile indican que la condición de propagación está aumentando rápidamente en los últimos años, lo que hace que los modelos creados para Chile necesiten ser evaluados en forma permanente (Castillo *et al.*, 2016). Esto, con el objetivo de estimar los futuros escenarios dada la incertidumbre creada por las condiciones climáticas y la mayor susceptibilidad de la vegetación a la ignición e inflamabilidad respecto de su comportamiento histórico.

Este nuevo escenario involucra un área aproximada de 14,5 millones de hectáreas que comprometen la región centro-sur de Chile, en donde coexisten distintas formaciones de bosque nativo, inclusive especies del matorral y bosque esclerófilo (Garfias *et al.*, 2018). Se encuentran, además, plantaciones forestales con fines de producción cuyas principales especies corresponden a pino radiata y diversas especies de eucaliptos. En particular, los mayores daños se presentaron en el bosque esclerófilo, formación representada por especies nativas tolerantes a las condiciones mediterráneas de sequía, pero extremadamente dañadas por los incendios debido a los altos niveles de intensidad alcanzados por el fuego y la severidad extrema resultante de la propagación descontrolada en miles de hectáreas.

De acuerdo con el estudio de Garfias *et al.* (2018), se concluye que se perdió cerca de 18% de este tipo de bosque en la región central en el verano de 2017, lo que dio paso a extremas condiciones de exposición y degradación de cuencas hidrográficas que han iniciado un proceso de erosión tras las primeras lluvias en abril de ese año. Estudios de hidrofobicidad ejecutados por García-Chevesich *et al.* (2010, 2019) dan cuenta de la pérdida de productividad primaria del suelo y las alteraciones que se producen en la capa superficial de los suelos (primeros milímetros) al ser afectados por el paso del fuego.

Los incendios forestales en Chile Central, particularmente entre las latitudes 32° 22'- S y 36° 48'- S, se vuelven cada año agentes de perturbación del paisaje vegetal del bosque nativo mediterráneo, también en plantaciones forestales con fines comerciales y en una extensa variedad de infraestructuras cercanas a zonas forestales, sobre todo viviendas e industrias.

El cambio climático, la dinámica existente en el uso del suelo y el aumento en la intencionalidad como causa de inicio de incendios, son realidades que muestran la necesidad de seguir perfeccionando los programas de defensa contra incendios forestales en el país. Dicho mejoramiento requiere la modernización de la infraestructura para la prevención, la ocurrencia y propagación de incendios cada vez más complicados, además de la misión ineludible del Estado de fortalecer su institucionalidad para resguardar la seguridad de las personas y comunidades, especialmente en las zonas de interfase urbano-rural, así como el patrimonio forestal y ambiental asociado a los bosques nativos vulnerables al impacto de los incendios forestales (Castillo *et al.*, 2016).

La superficie de incendios en ecosistemas, según la categoría de conservación afectada, evidencia que los eventos de mayor tamaño se concentraron en la zona central del país, donde se presentan los ecosistemas o pisos vegetacionales más amenazados según la clasificación de la UICN. En términos de superficie, el 76 % del área de ecosistemas naturales afectados por incendios forestales correspondió a ecosistemas clasificados como en peligro crítico y en peligro.

No existe, hasta ahora, una normativa para la evaluación preventiva y regulación que establezca exigencias para viviendas que se emplacen en áreas de riesgo (Minvu, 2009, 2014), cosa que sí ocurre en el ámbito internacional en las normas AS 3.959 y NFPA 1.141, 1.144 y 5.000.

Por otra parte, en Chile no existen políticas públicas que regulen la construcción de viviendas e infraestructura según las condiciones de habitabilidad de su emplazamiento, riesgo de incendios y otros desastres. En forma flagrante se trasgreden las disposiciones normativas dispuestas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, lo que se ve agravado por la inexistencia de inscripciones y recepciones de obras en



los municipios. Por otra parte, existe un déficit de normas que resguarden las nuevas condiciones de habitabilidad, por insuficiencia de actualización de la clasificación de usos de suelos, falta de actualización de planes reguladores y, en general, de la integración de la gestión de riesgo de desastres a la política pública que vincule la identificación de áreas de riesgo y las características de habitabilidad que se debiese recomendar o exigir.

A diferencia de otros países, en Chile tampoco hay normativa ni regulaciones que consideren la limitación para estaciones que expenden combustibles o que las industrias que manejan materiales altamente combustibles no puedan estar emplazadas cerca de bosques ni en zonas catastradas de alto riesgo de incendios, lo cual implica una seria amenaza para los ecosistemas colindantes, la vida, el bienestar de las personas y la infraestructura.

PRODUCTOS FORESTALES NO MADEREROS, PROTECCIÓN A TRAVÉS DE LA CLASIFICACIÓN DE ESPECIES EN CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN Y CULTURA

En Chile, así como en muchos países, existe un alto consumo de productos forestales no madereros. Sin embargo, no todos ellos pueden ser utilizados sin restricción, más bien en la mayoría de los casos se requiere abordar y regular su uso procurando la sustentabilidad, pero velando también por actualizar su estado de conservación. Entre los casos más críticos —y que se encuentran entre los diez más vendidos al mercado internacional— está el musgo pompón (*Sphagnum sp.*); el quillay y el boldo para la extracción de hojas, corteza y extractos; el avellano para hojas y frutos; y el maqui para frutos y yerba de San Juan, solo por mencionar algunos de la lista de más de 480 productos.

Por lo tanto, es necesario contar con una protección de las diferentes especies que son fuente de productos madereros y no madereros, y que regule o prohíba su aprovechamiento según sea el caso, para lo cual la clasificación de especies según su estado de conservación es un instrumento relevante. Al respecto, en la última sesión ordinaria del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad se dejó en suspenso la etapa final del Decimocuarto Proceso de Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación, lo que aplazó la categorización de 55 especies nativas. Esta clasificación es el principal instrumento para priorizar recursos y esfuerzos en aquellas especies más amenazadas y, lo más importante, implica que serán consideradas en el proceso del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En dicha sesión el ministro de Agricultura, Antonio Walker, cuestionó por motivos económicos que dos especies —el olivillo (*Aextoxicon punctatum*) y el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*)— incrementaran su categoría de conservación, señalando que esto «podría dificultar la evaluación de los proyectos que se presenten».

Estos antecedentes se exponen con el propósito de poner a los productos forestales no madereros en la discusión, admitiendo que su uso está arraigado en la cultura, que su conservación y aporte económico son igualmente relevantes, que debe buscarse mejorar las condiciones actuales, tema que está abordado en la Política Forestal 2015-2035. En su segundo eje estratégico, «Productividad y crecimiento económico», señala en su objetivo de impacto 2.4: «Ampliar significativamente —en extensión, calidad y sustentabilidad— la generación de productos forestales no madereros asociados a los recursos forestales».

La industria forestal, los incendios forestales, los proyectos inmobiliarios, la expansión agrícola y la extracción de minerales son algunas de las acciones antrópicas que han producido una inmensa pérdida o reducción de los bosques y los servicios ecosistémicos que ofrecen, los que, además de generar daños a nivel ecológico, han causado un gran impacto negativo a nivel sociocultural en el país (Infor, 2016; Sasaki y Putz, 2009). Estas constantes perturbaciones perjudican principalmente ecosistemas boscosos, afectando progresivamente a comunidades y pueblos indígenas que habitan o habitaban en las distintas áreas naturales del país (Gutiérrez, Díaz-Hormazábal y Chávez, 2017), lo que genera a su vez una disminución del multiculturalismo de los pueblos presentes a lo largo de la historia en Chile (Hopenhayn y Bello, 2001).

Las comunidades, pueblos y naciones indígenas reconocidas por las Naciones Unidas constituyen ahora sectores no dominantes de la sociedad y tienen la determinación de preservar, desarrollar y transmitir a futuras generaciones sus territorios ancestrales y su identidad étnica como base de su existencia continuada como pueblo. Cabe destacar que, según resultados del Censo 2017, el 12,8 % de la población chilena se considera perteneciente a un pueblo indígena u originario (INE, 2018).



Plantaciones forestales y bosques nativos

Uno de los aspectos más fundamentales en la determinación de los compromisos y metas ambientales relacionados con el uso de suelo y en particular con el sector forestal, es el reconocimiento de las diferencias esenciales que existen entre plantaciones forestales y bosques nativos. Si bien en ambos casos existe un determinado crecimiento de biomasa que se encuentra asociado a la captura de carbono atmosférico, las dinámicas de estos sistemas —uno industrial y otro natural— son por completo distintas en términos ecológicos, y estas diferencias se fundamentan en el ciclo de vida productivo y sucesional que tienen respectivamente.

Todo proceso productivo tiene insumos y productos. En el caso de las plantaciones forestales se produce fibra a partir del crecimiento celular (por fotosíntesis) de los árboles. Esto representa una forma de capturar carbono de manera rápida, y dependiendo de los productos fabricados, una permanencia de este carbono por un período de tiempo variable. Este puede ser de 1 a 4 años, en el caso de la celulosa, hasta un período que en el caso de Chile puede estimarse en 40 años para madera aserrada. Sin embargo, en el proceso de producción se utilizan insumos de entrada como combustibles, fertilizantes, herbicidas y su respectivo transporte, lo cual genera emisiones de carbono hacia la atmósfera. Lo anterior, sin considerar las emisiones de las plantas de celulosa, madera aserrada y otras industrias de la madera, así como del transporte de trozas y productos. Si se aumenta el área de plantaciones —por ejemplo, como parte de una estrategia para aumentar las capturas—, se debe considerar el aumento de las emisiones asociadas. Además, hay que considerar que las emisiones desde las plantas de celulosa y otras industrias estén imputadas mayoritariamente a los sectores de industria y transporte en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).

De acuerdo con Lewis *et al.* (2019), las metas climáticas no se alcanzarán si los países proponen cumplir su parte en el secuestro de carbono mediante el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales. Las plantaciones forestales pueden capturar carbono en forma rápida debido a que en general se crean con especies de rápido crecimiento. Sin embargo, un porcentaje de este carbono capturado es liberado nuevamente a la atmósfera cuando se hacen los procesos industriales vinculados al manejo intensivo de plantaciones. Para el caso de productos como pulpa y papel, el carbono capturado por los árboles que terminaron transformados en dichos bienes retornaría a la atmósfera en aproximadamente dos años. En el caso de Chile, el 50 % del volumen total cosechado se destina a la producción de pulpa de celulosa y astillas exportadas —usada en la fabricación de papel, pañales y otros productos desechables— y el 14 % a leña. Todo el carbono capturado por estas plantaciones sería liberado de nuevo a la atmósfera en un plazo de 1 a 4 años.

En este mismo ámbito, Morales *et al.* (2018) muestran que para producir un metro cúbico de eucalipto se liberan 16,3 kg de CO₂ equivalentes. Por lo tanto, el secuestro de carbono debe considerar el ciclo completo de producción. Este análisis se conoce como análisis de ciclo de vida o *life cycle assessment*, el cual es fundamental para no sobrestimar la capacidad de secuestro de cualquier sistema productivo. La información sobre el análisis de ciclo de vida debe ser pública, transparente y verificable, pues de otra forma no existen incentivos a la mejora en la eficiencia de los procesos, ni credibilidad en el sistema a nivel nacional e internacional.

Por otro lado, las políticas de subsidios forestales en Chile (Decreto Ley 701 y Ley 20.283) no fueron diseñadas considerando la marginalidad que produce la política de subsidio, es decir, dada su rentabilidad privada, si es que acaso se justifica entregar dineros públicos para aumentar la superficie de plantaciones. El caso de



las plantaciones forestales demuestra que su expansión estuvo fundada en buena medida por el proceso de liberalización económica en Chile (remoción de bandas de precio, restricciones de exportación y apertura a mercados internacionales), hasta hacerlas *estructuralmente* más rentables que otros usos de suelo.

En contraste, en el caso de la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283), en el diseño y determinación del monto de los subsidios no se consideraron los costos reales de las actividades solicitadas a los propietarios, así como tampoco los costos de oportunidad de conservación ni los posibles beneficios sociales de la conservación del bosque. Se estableció un límite arbitrario, sin evidencia, de 10 UTM por hectárea, lo que además no consideró la variabilidad geográfica de los costos de manejo, insumos y transporte.

Por lo tanto, cualquier modificación o nueva legislación forestal debe enfocarse en generar beneficios sociales que incentiven la conservación y restauración de los bosques nativos del país, así como su manejo sustentable, y evitar la pérdida o degradación de estos ecosistemas, lo que implicaría significativas emisiones de dióxido de carbono, además de una disminución de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.

Sin duda existen múltiples características propias de los sistemas productivos forestales y de los bosques nativos que deben ser evaluadas para la determinación de nuevas forestaciones. En este sentido, no se debe olvidar que las metas climáticas persiguen sobre todo el secuestro del carbono atmosférico en los sistemas terrestres. Por lo mismo, se requiere una clara identificación de los atributos sociales, ambientales y económicos que proveen cada uno de estos sistemas, con el de bosques nativos, según lo expuesto, como el de mayor potencial para la mitigación.

Es importante considerar que el sector forestal representa un importante rubro exportador y que contribuye de manera significativa a la economía nacional. Sin embargo, también podría contribuir a las metas climáticas sin expandir su superficie, considerando la gestión del paisaje entre los fragmentos. El diseño ecológico de los espacios internos y de aquellos que circunscriben a las plantaciones puede ofrecer oportunidades para ayudar a conservar la biodiversidad tanto en aspectos de composición de especies como funcionales, al conectar poblaciones u ofrecer hábitats alternativos o complementarios (Damschen *et al.*, 2019; Driscoll *et al.*, 2013). Esta medida de manejo, conocida como *corredor biológico*, podría complementarse con muchas otras que apunten a la conservación de los suelos y la protección de los recursos hídricos de las cuencas en donde se emplazan las plantaciones.

Por otra parte, bajo el contexto de la COP25, es primordial fomentar y potenciar iniciativas estatales como la adopción del programa REDD+ de Naciones Unidas, al cual Chile decidió sumarse con el objetivo de cumplir con la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales, bajo la premisa de reducir las emisiones de carbono hacia la atmósfera por causa de degradación o deforestación. Se requiere impulsar y fortalecer las capacidades institucionales para la conservación de los bosques nativos del país, evitando la pérdida y degradación de estos ecosistemas, así como las emisiones asociadas. Los impactos de no tomar estas medidas quedan de manifiesto en los ejemplos que se muestran en la **Tabla 5**.

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE BOSQUE NATIVO PARA LA MITIGACIÓN EN EL LARGO PLAZO

Evitar el remplazo de bosques naturales nativos y promover su restauración cumple un criterio esencial para combatir el cambio climático: maximizar la cantidad de carbono almacenado por unidad de área y su tiempo de residencia en los hábitats terrestres. La clave de esta eficiencia está en la mayor diversidad estructural de los árboles, arbustos y hierbas que conforman los bosques nativos. Por ejemplo, los bosques con abundancia de árboles longevos —que demoran cientos de años en completar su ciclo de vida— logran un mayor almacenamiento y tiempo de retención promedio de carbono (período de residencia). Para los bosques antiguos de alerce de la cordillera de los Andes se estima un período de residencia del carbono de más de 1.300 años solo considerando los árboles vivos de alerce, el período más largo en el mundo (Urrutia-Jalabert *et al.*, 2015). Cuando los árboles nativos mueren, un alto porcentaje de este carbono permanece por décadas o siglos en los árboles muertos que quedan en pie o yacen sobre el suelo, y va siendo liberado lentamente a medida que los troncos se pudren.

Por el contrario, en plantaciones de árboles de crecimiento rápido, el período de residencia del carbono es de 10 a 18 años en Chile según el período de rotación. En el momento de la tala rasa, un porcentaje alto de este carbono se transforma en productos de vida corta, en especial la pulpa de celulosa y astillas para producción



de pulpa y papel, que en 2017 representaron el 54 % del volumen total cosechado para fines industriales (45,7 millones de m³), además de la leña (7,5 millones de m³) (Infor, 2019; Lara *et al.*, 2019), y es liberado a la atmósfera en un período de 1 a 4 años.

Otro factor que contribuye a acortar el período de liberación del carbono en la atmósfera desde las plantaciones es que después de los incendios se hace maderero de salvataje. Esta práctica consiste en la recuperación y aprovechamiento de parte del volumen de la madera en áreas afectadas por incendios de severidad moderada o baja en el fuego. Corresponde a un adelantamiento de la cosecha a tala rasa de parte del volumen de estas plantaciones, lo que reduce el tiempo en que los árboles están capturando carbono. Después de los incendios de 2017 se hizo este tratamiento en forma extensa, lo que podría explicar el aumento de la producción de madera para pulpa y de astillas en 8,3 y 10,5 % respectivamente en comparación con 2016.

En el caso de madera de pino y eucalipto, puede estimarse que el carbono permanece en los productos por un máximo de 40 años considerando madera impregnada. De hecho, ninguno de esos productos está garantizado por 40 años, la retención de carbono por más tiempo es excepcional y finalmente en algún momento retorna a la atmósfera. Por lo mismo, hacer productos maderables de larga duración no debe tratarse como una eficiente medida de mitigación.

Por último, dada la eficiencia de los bosques naturales para almacenar carbono por unidad de área, su protección y restauración es una de las acciones más efectivas, la que debe alinearse y compatibilizarse con medidas de mitigación de múltiples sectores (Bastin *et al.*, 2019; Griscom *et al.*, 2017; Lewis *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2016; Watson *et al.*, 2018).

SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE AGUA

Otro aspecto relevante en la diferenciación entre plantaciones forestales y bosques nativos guarda relación con el recurso hídrico y el manejo integrado de las cuencas en los distintos territorios. Los bosques proveen múltiples servicios ecosistémicos relacionados con el agua, incluyendo su provisión, la regulación de flujos, la provisión de valores turísticos y de recreación (Millenium Assessment, 2005). Las plantaciones forestales industriales (monocultivo de especies exóticas como pino o eucalipto de rotaciones cortas), si bien tienen asociados beneficios económicos derivados de sus productos forestales de corta y media vida (como celulosa y madera), no proveen los mismos servicios ecosistémicos de bosques que han seguido el curso de la sucesión natural (Scott, 2005).

Se ha reportado que plantaciones de *Eucalyptus grandis* en etapa de crecimiento evapotranspiran —lo que incluye interceptación de copas, evaporación del suelo y transpiración de los árboles— hasta el 90 % de la precipitación anual (1.147 mm) (Almeida *et al.*, 2007). Para plantaciones de *Pinus radiata* se han documentado tasas de evapotranspiración anual incluso de 95 % de la precipitación para sitios con una precipitación anual de 1.015 mm, y un descenso de este porcentaje hacia zonas más húmedas con una evapotranspiración equivalente al 47 % en áreas con una precipitación anual de 2.081 mm (Huber *et al.*, 2008). Además de un aumento de la evapotranspiración (expresada como porcentaje de la precipitación total) en zonas más áridas, Huber, Iroumé y Bathurst (2008) reportaron también una disminución de la percolación en las zonas de menor precipitación y, por ende, una menor recarga de acuíferos. En casos más extremos, el consumo de agua de plantaciones forestales puede sobrepasar a la precipitación en detrimento de las napas freáticas (Calder, 2007).

En Chile existe amplia evidencia de la relación entre el bosque nativo, las plantaciones forestales y la provisión y regulación de agua. Diversos estudios comparativos de cuencas hidrográficas han reportado que cuencas con mayor porcentaje de plantación forestal (comparadas con otras cuencas con mayor cobertura de bosque nativo, y controlando por características climáticas y topográficas) tienen asociado menores caudales (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019; Lara *et al.*, 2009; Little *et al.*, 2009). Estas diferencias en provisión de agua se explican por el mayor consumo de agua de las plantaciones, y se volvería significativa a partir de los primeros años (entre 1 y 3) de la plantación de especies exóticas (Scott, 2005). Por otra parte, se ha reportado que cuencas cubiertas por bosque nativo tienen una mayor capacidad de regular los caudales, presentando una menor variabilidad de caudales y mayores caudales de verano, comparadas con las cubiertas por plantaciones forestales (Little *et al.*, 2009).

En general, la literatura muestra consenso en que, comparadas con un bosque nativo adulto, las plantaciones forestales evapotranspiran más, lo que se traduce en menores rendimientos hídricos, sobre todo en verano y durante los períodos de sequía. Sin embargo, la magnitud de la reducción en la disponibilidad de agua depende de las características del caso de estudio. Esto impone desafíos para desarrollar conclusiones y recomendaciones que sean generalizables. Por ejemplo, existe un efecto de escalamiento, en el que parcelas,



microcuencas y macrocuencas muestran una sensibilidad distinta al cambio de uso del suelo (reemplazo de bosque nativo por plantación forestal), y las reducciones de caudal mayores se dan a escalas más pequeñas (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019; Little *et al.*, 2009). Las diferencias en disponibilidad de agua debido a un reemplazo de bosque nativo por plantación forestal dependen también de la composición inicial de coberturas de suelo dentro de la cuenca y de las condiciones climáticas, con mayores reducciones en zonas más áridas (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019). La reducción de los rendimientos hídricos por las plantaciones tiene impactos en la población urbana y rural que vive en una escasez hídrica creciente, con un deterioro en la producción agrícola y en la degradación de ecosistemas y su biodiversidad (Miranda *et al.*, 2017; Nahuelhual *et al.*, 2012).

Respecto de la necesidad de considerar los compromisos o *trade-offs* que resultan de diferentes medidas de mitigación en el contexto del diseño de las propuestas para la adecuación de las NDC, un estudio reciente estimó los cambios en la escorrentía anual como un indicador de la provisión de agua en las cuencas, y estimó los cambios en la escorrentía expresada como caudal anual que ocurrirían después de forestar 100.000 ha. Estas hectáreas se encontraban en un principio cubiertas por matorrales y pastizales, con distintas proporciones de plantación con especies exóticas versus especies arbóreas nativas (Álvarez-Garretón *et al.*, 2019). Si la mitad del área comprometida se foresta con especies nativas destinadas a generar bosques nativos que mantengan una cobertura y acumulación de carbono permanentes (sin talas rasas), y la otra mitad con especies exóticas (por ejemplo, pino o eucalipto) para constituir una plantación forestal sujeta a cosechas a tala rasa en rotaciones cortas (12 a 18 años), el carbono capturado se liberaría parcialmente de vuelta a la atmósfera y, en promedio, se esperaría un descenso de 18% en la escorrentía anual (Figura 3). Esto en comparación con la opción de que la plantación fuera totalmente con especies nativas. La escorrentía proyectada decrece a mayor área cubierta con plantación forestal, llegando a 45% de disminución de escorrentía si la totalidad de las 100.000 ha se cubre con plantación forestal exótica. Lo anterior claramente no fue considerado en la actual propuesta de NDC dada a conocer por el Gobierno en octubre de 2019, que considera la forestación de 100.000 ha con especies exóticas para constituir plantaciones industriales sujetas a talas rasas. Bajo cualquier combinación de especies plantadas, la disminución en disponibilidad de agua sería mayor si se foresta en cuencas pequeñas (representada por los percentiles bajos de la curva en la Figura 3).

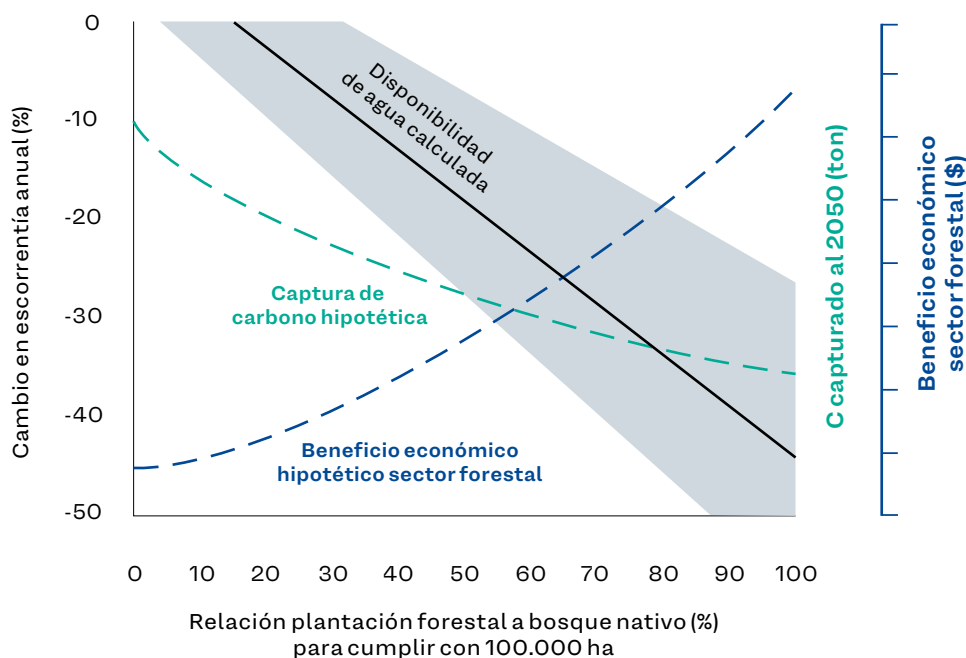


Figura 3. Variación en escorrentía anual bajo diferentes combinaciones de especies arbóreas. Forestación considerada a 100.000 ha, propuesta en las NDC (el área gris corresponde a los percentiles 25 % y 75 %). La disponibilidad de agua se calcula según el modelo desarrollado por Álvarez-Garretón *et al.* (2019). La línea verde es la potencial captura de carbono al año 2050 a partir de las especies plantadas, bajo el supuesto de que las especies exóticas estarían sujetas a una rotación de 12 a 18 años (y por lo tanto el carbono capturado se liberaría en forma parcial de vuelta a la atmósfera, mientras que las plantaciones con especies nativas estarían destinadas a generar bosques nativos que mantengan una cobertura permanente, sin cosecha). La línea azul representa el beneficio económico privado potencial (hipotético), proveniente de los productos forestales (principalmente pulpa además de trozas, madera aserrada y tableros). Fuente: Adaptado de Álvarez-Garretón *et al.* (2019).



COSTOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La sustentabilidad solo es efectiva cuando se integran consideraciones sociales, culturales y ambientales para definir su costo real de implementación. En la actualidad, existe suficiente evidencia científica sobre los impactos sociales, económicos y ambientales de las plantaciones forestales con especies exóticas. Además, parte del impacto social de nuestro sistema silvícola incluye mayores tasas de emigración rural y de conflictos territoriales.

Finalmente, tampoco se debiera omitir el aumento del riesgo de incendios forestales. Aunque desde siempre los incendios forestales de Chile han moldeado el paisaje del país, hoy en día, como en muchas otras partes del mundo, el régimen de incendios ha cambiado y el área, frecuencia e intensidad de los incendios han crecido a un ritmo alarmante, destacándose el año 2017 como el peor año en la historia reciente de Chile (Bowman *et al.*, 2018; Lara *et al.*, 2019). Un problema adicional lo plantean los incendios en la interfaz urbano-rural debido a la masiva y homogénea actividad silvícola de pino y eucalipto en las áreas cercanas. Además, los incendios debieran ser incluidos en las cuentas de carbono. Si se ignoran los costos sociales y ambientales en la evaluación de la propuesta forestal, estaremos inflando su efectividad (Griscom *et al.*, 2017; Lindenmayer *et al.*, 2012).



Brechas de información y desafíos

Actualmente no se cuenta en Chile con una estimación de la superficie de bosques intactos, ni con un catastro con suficiente detalle espacial y estructural que permita establecer su distribución geográfica, de manera que se tomen decisiones territoriales que apunten a su conservación. Parte de este problema se debe a que las clasificaciones forestales de Chile (por ejemplo, Conaf, 2011) no distinguen bosques adultos según su grado de alteración. Esto determina que las tasas de pérdida de cobertura de bosques intactos y su degradación no se han podido estimar de manera correcta. En consecuencia, las estimaciones de emisiones de carbono producto de estas actividades no son precisas y es muy probable que se subestimen, tanto los aportes en mitigación como en las pérdidas de carbono producto de su reemplazo por otros usos de la tierra o su degradación.

Por otra parte, se asume que los bosques intactos se encuentran ya protegidos en áreas silvestres protegidas tanto estatales como privadas. Sin embargo, de las cifras oficiales se desprende que el 68 % de la superficie de bosques adultos de Chile se encontraban sin protección en 2015 (Conaf, 2015), y es en esa superficie donde se encuentran bosques intactos. Ahora, los bosques intactos de Chile que no se encuentran en áreas protegidas siguen siendo intervenidos de manera no sustentable (es decir, sin planes de manejo aprobados por Conaf), lo cual degrada el bosque y genera emisiones de carbono a la atmósfera. Conaf (2015) estimó una pérdida de bosques adultos en el país de 15.364 ha entre 2010 y 2015.

Lo anterior determina que, a la fecha, los bosques intactos de Chile no son considerados explícitamente en estrategias de mitigación de cambio climático, a pesar de que detener su conversión y degradación es percibida como una de las soluciones basadas en la naturaleza más efectivas para mitigar el cambio climático (Griscom *et al.*, 2017).

Los bosques adultos e intactos de Chile también son relevantes en la conservación de la biodiversidad (Armesto *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2009). Por lo tanto, su preservación es una solución que también integra otros beneficios para la adaptación humana al cambio climático, ya que aportaría a cumplir tanto los acuerdos de mitigación como a detener las pérdidas de biodiversidad (Seddon *et al.*, 2019).

Se suma, además, el hecho de que Chile no cuenta con un sistema de monitoreo que permita hacer un seguimiento de la dinámica de cambio de uso y cobertura del suelo, en particular de la cobertura de bosques nativos y su diferenciación con plantaciones forestales con la suficiente precisión, confiabilidad y aceptación entre los actores involucrados (Lara *et al.*, 2016; Miranda *et al.*, 2018). Existe un rango amplio de variación en la estimación del área de bosque nativo, y aunque todas las fuentes muestran tasas de pérdida, en las últimas dos o tres décadas las cifras difieren en su magnitud. Esto genera incertidumbre y dificulta la planificación, la toma de decisiones respecto del bosque nativo y el entendimiento de un tema de preocupación creciente por parte de la ciudadanía.

Las diferencias se producen porque Conaf ha utilizado una metodología y criterios de clasificación variables en el tiempo, mientras que los estudios hechos por distintos investigadores e instituciones para el período 1975-2010 han utilizado una metodología común y sostenida, sobre la base del análisis y clasificación de la vegetación a partir de imágenes satelitales de diferentes fechas y verificaciones de terreno.

Se propone que Conaf, como institución encargada de la actualización y monitoreo del bosque nativo, convoque a la constitución de un panel de especialistas de diferentes instituciones gubernamentales, académicas, consultores y organizaciones de la sociedad civil. El rol de este panel de carácter permanente debiera



ser la definición de una metodología de monitoreo y registro de los cambios en la cobertura forestal, así como la validación de los informes de actualización y monitoreo de la cobertura de los bosques nativos y otros usos del suelo que periódicamente elabora la Corporación. Lo anterior permitiría un consenso en torno al área cubierta de bosque nativo en Chile, la magnitud, dirección y tasa de cambios a otros usos del suelo, así como los patrones geográficos y temporales de dichos cambios. Esta recomendación ya fue hecha por Lara *et al.* (2016) y Miranda *et al.* (2018) en otras instancias, sin que hasta el momento haya sido considerada.

La existencia de patrones de fragmentación y pérdida de hábitat de las formaciones vegetacionales están claros, pues existen estudios recientes que muestran que terrenos abandonados en algunas áreas tienen la capacidad de recuperarse en forma espontánea en la medida que las presiones sean eliminadas. Sin embargo, faltan estudios de fragmentación al norte de la región de Valparaíso y más estudios de la capacidad de recuperación de los sistemas. También existen importantes avances en el conocimiento del efecto de la fragmentación sobre un número importante de taxones, pero faltan estudios que permitan entender la movilidad de las especies, y otros sobre la deuda de extinción en estos remanentes de hábitat. Asimismo, faltan estudios que relacionen la degradación de hábitat, el efecto de las especies invasoras sobre la diversidad remanente y la amenaza de la matriz agrícola sobre ellos.

En términos de generación de conocimientos, se considera que se han hecho importantes avances, aunque la difusión de este conocimiento es una deuda pendiente, junto con la falta de políticas públicas atinentes a disminuir los efectos negativos de la fragmentación sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brinda.

Se destaca que el PROT (Peña-Cortés *et al.*, 2018) emerge como un instrumento que, sobre la base de los intereses y características físicas de la región, entrega una guía para su desarrollo en un marco de opciones deseables y factibles, las que reflejan compatibilidades entre todos los intereses y funciones que se presentan en los diversos sistemas territoriales y entre estos mismos (Subdere, 2011).

Según Peña-Cortés *et al.* (2019), el PROT tendrá competencia en el 93 % del territorio nacional no normado por instrumentos de alcance urbano, lo cual implica un gran desafío a nivel nacional para el país, posicionándose como un punto crítico que debe ser abordado desde una perspectiva regional. Para ello, es importante que tanto la Política como el Reglamento de los PROT (Arenas y Orellana, 2019) consideren criterios y variables que permitan la definición de las condiciones de localización según se indica en la ley, constituyéndose así en un requerimiento fundamental en los nuevos planes de ordenamiento territorial.

Estos planes requieren una visión integrada y no sectorial, como ha sido históricamente, lo que implica hacer un análisis multiescalar que involucre una combinación dinámica de elementos geográficos diferenciados, bióticos, abióticos y antrópicos (Andrade *et al.*, 2010; Barragán, 2014). Especial relevancia será considerar los diferentes componentes del territorio desde lo físico a lo sociocultural, en una visión de largo plazo y con amplia participación ciudadana.

Falta información sobre el balance entre el secuestro y la emisión de carbono de muchos tipos de ecosistemas en Chile. Para reducir la incertidumbre, es necesario continuar con la medición de los reservorios y emisiones de carbono para distintos tipos forestales de Chile, y su comparación en diversos estados de desarrollo. Se recomienda aumentar la cobertura de torres *eddy covariance* en el país.

En la actualidad, al menos en el caso del sector silvoagropecuario, los esfuerzos en materia de cambio climático en Chile están enfocados mayoritariamente en mitigación por sobre adaptación. En el caso de los bosques nativos y las turberas, los esfuerzos se concentran en la conservación, lo que permite mantener o incrementar sus condiciones como sumideros de carbono. Además, contribuyen a conservar y mejorar los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y protección de la biodiversidad, lo que complementa los alcances de la propuesta.

En cuanto a las plantaciones forestales, es necesario evaluar la dinámica y magnitud de las capturas y emisiones de carbono en sus distintas etapas de crecimiento, es decir, a lo largo de la rotación, las emisiones asociadas a faenas de cosecha a tala rasa —por concepto de quema de combustibles en el uso de maquinaria—, la descomposición de desechos forestales y la erosión de suelos, entre otros (Banfield *et al.*, 2018).

De manera general, las brechas de conocimiento referentes a turberas están relacionadas con el desarrollo de inventarios confiables, teniendo una consideración particular sobre el papel que tienen como depósitos de carbono. Por ejemplo, en la actualidad no se cuenta con un inventario preciso del área total de turberas en la región de Magallanes: la información disponible sobre su profundidad y contenido de carbono es insuficiente para elaborar una estimación confiable sobre la magnitud real del depósito de carbono subsuperficial que representan. A su vez, es escaso el análisis cuantitativo del impacto de la colonización del castor (*Castor canadensis*) sobre las tasas de degradación de turba en ecosistemas subantárticos. Es también necesario cuantificar y proyectar las consecuencias del cambio climático en las tasas de acumulación de turba en la



región, ya que por el momento solo hay información limitada sobre el impacto de las actividades humanas y las tasas de emisión de gases de efecto invernadero en turberas subantárticas. Asimismo, se desconoce si el manejo sustentable propuesto bajo el Decreto Supremo 25 de enero de 2019 garantiza la conservación de las turberas, debido a que las tasas de acumulación en sistemas subantárticos son substancialmente inferiores a las de ecosistemas tropicales.

En consecuencia, definir líneas base destinadas a la implementación de programas de conservación de turberas como mecanismos de mitigación de emisiones de carbono a la atmósfera, a partir solo de la información existente, tendría un nivel de incertidumbre considerablemente alto. Este tipo de mecanismos representan instrumentos fundamentales que Chile tendrá que emplear durante las próximas décadas para alcanzar la neutralidad de carbono proyectada para el 2050.

Se propone tomar una serie de acciones para disminuir estas brechas: reducir la incertidumbre sobre las estimaciones de depósitos de turba a nivel nacional; extender a nivel nacional los alcances del Decreto 16, promulgado para la protección de las turberas localizadas en el parque Karukinka. Se propone eliminar la condicionante del artículo 17 numeral 6 del Código de Minería; promover el desarrollo de un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para la región de Magallanes y Antártica Chilena; y estimar el impacto de la proliferación de especies invasivas sobre los componentes superficiales (por ejemplo, bosques) y subsuperficiales (como turberas o sedimentos lacustres) de los ecosistemas subantárticos de la región.

Ligado a ecosistemas como los áridos y semiáridos de Chile (Loayza *et al.*, 2017; Peña *et al.*, 2014; Squeo, Arancio y Gutiérrez, 2001, 2008), no existe una cuantificación del flujo de carbono y función de sumidero a nivel de estos. Los ecosistemas áridos y semiáridos de Chile albergan una variada y frágil biodiversidad en los ambientes que se forman en sus pisos altitudinales. Existen sistemas de vegetación azonal (bofedales), matorral xerofítico, oasis de niebla, bosques pantanosos y humedales costeros. Sin embargo, no existe evidencia que cuantifique las dinámicas de flujo de carbono de estos sistemas, ni cómo los efectos del déficit de precipitaciones que se ha experimentado desde el 2010 han afectado a la fijación de carbono. Las brechas de conocimiento ocultan la importancia que tiene la restauración y conservación de estos ecosistemas en su función de sumidero de carbono.

Dentro de los desafíos se encuentra el conocer la dinámica de flujo de dióxido de carbono en ecosistemas de zonas áridas y semiáridas de Chile, e identificar los componentes bióticos y abióticos que favorezcan la asimilación y secuestro de carbono por sobre la liberación de este gas a la atmósfera. Dado que el ciclo del carbono no solo es importante desde un punto de vista biológico, sino que el flujo de este elemento en zonas áridas influye en las actividades agrícolas y ganaderas —especialmente de comunidades rurales—, maximizar la función de sumidero implica coordinar a los encargados de la toma de decisiones y de la planificación territorial, junto con científicos y ciudadanos.

Por otro lado, Chile necesita con urgencia actualizar su cartografía de modelos de combustibles, por lo menos para las zonas con mayor ocurrencia de incendios forestales. Los antecedentes disponibles provienen de diversas fuentes, muchas de ellas desactualizadas y que no convergen en los mismos objetivos en la gestión de los recursos vegetales. Sumado a ello, se hace necesario estudiar más en profundidad las variables que inciden en tres aspectos básicos de los programas de protección contra incendios forestales: los análisis del riesgo (ocurrencia), peligro (cómo se propaga el fuego) y la vulnerabilidad (los daños potenciales que puede producir el fuego en ecosistemas, bienes y servicios).

Además, existe una urgente necesidad de modernizar la legislación en el sistema de regulaciones y sanciones debido al uso irresponsable del fuego y el sostenido aumento de la intencionalidad, pese a los enormes esfuerzos hechos por el Estado para dotarlos con más recursos año tras año al inicio de las temporadas de incendios. Existen dos aspectos aún deficitarios: debilidades en la formación educativa ambiental de los niños, jóvenes y adultos, y el escaso interés de las agencias de financiamiento al estímulo de proyectos de investigación en manejo del fuego.

En última instancia, los PROT tendrán competencia en el 93% del territorio nacional no normado por instrumentos de alcance urbano, lo cual implica un gran desafío a nivel nacional para el país, posicionándose como un punto crítico que debe ser abordado desde una perspectiva regional. Para ello, es importante que tanto la política como el Reglamento de los PROT (Arenas y Orellana, 2019) consideren criterios y variables que permitan la definición de las condiciones de localización según se indica en la ley, constituyéndose así en un requerimiento fundamental en los nuevos planes de ordenamiento territorial.

Estos planes requieren una visión integrada y no sectorial —como ha sido hasta ahora—, lo que implica hacer análisis multiescalar que involucre una combinación dinámica de elementos geográficos diferenciados,

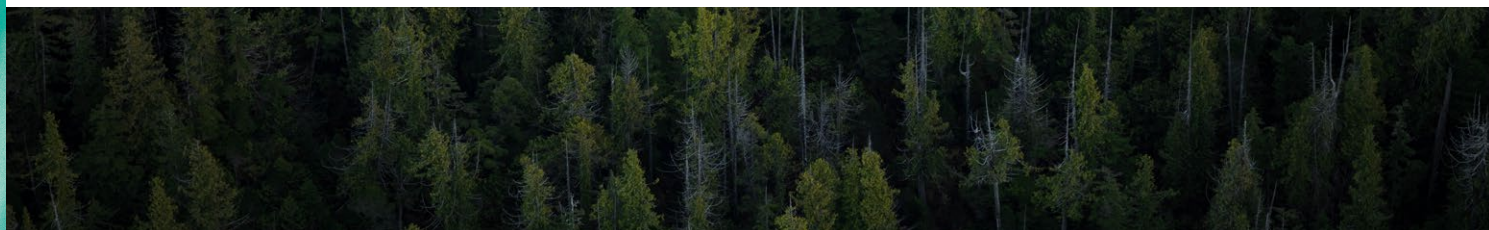


bióticos, abióticos y antrópicos (Andrade *et al.*, 2010; Barragán, 2014). Especial relevancia será considerar los componentes del territorio desde lo físico a lo sociocultural en una visión de largo plazo y con amplia participación ciudadana.

Es necesario avanzar en la promulgación de la Política Nacional de Ordenamiento Territorial y en el respectivo Reglamento que considere los elementos necesarios desde el punto de vista metodológico para la macrozonificación que establecen los PROT en el territorio rural con carácter de vinculante.

Es necesario generar una lista roja de ecosistemas que permita conciliar los esfuerzos de los grupos de investigación. Ello se podría lograr mediante la generación de una lista híbrida, que mantenga la categoría de amenaza más alta identificada por las diferentes listas, lo que permite, a través del principio de precaución, asegurar el mantenimiento de los ecosistemas.

Se necesita más información sobre parámetros biofísicos y ecológicos que determinan la categoría de amenaza de los ecosistemas. Hasta ahora la mayoría de las evaluaciones utiliza la reducción del tamaño del ecosistema como principal criterio de evaluación.



Propuestas de principios rectores

ENCUESTA

El 22 de julio de 2019, el taller de la submesa de Cambio de Uso del Suelo se enfocó en discutir propuestas de principios y medidas a ser consideradas en el diseño de las NDC. Los cinco principios considerados fueron:

1. Maximizar la captura y secuestro de carbono.
2. Asegurar que cualquier medida o incentivo considere una perspectiva de largo plazo, en que toda captura adicional de carbono se transforme en secuestro (almacenamiento permanente de carbono según la dinámica del ecosistema respectivo).
3. Minimizar las emisiones por pérdidas de cobertura vegetal asociadas a incendios, deforestación, otros cambios de uso de suelo y degradación de bosques, turberas, humedales y otros ecosistemas naturales.
4. Todas las regiones biogeográficas, ecosistemas terrestres, regiones administrativas y actividades del sector UTCUTS debieran aportar, según su potencial, al cumplimiento de las metas climáticas de Chile.
5. Estimar los compromisos (*trade-offs*), impactos negativos esperados de las medidas de NDC (e.g. reducción del albedo, provisión de agua, ecosistemas amenazados, biodiversidad, impactos sociales) e incorporar el análisis de ciclo de vida.

Con el fin de incluir a que quienes no participaron en el taller en forma presencial o por videoconferencia, se desarrolló una encuesta para conocer el grado de aprobación de la propuesta, la cual fue respondida por 19 integrantes de la submesa (Tabla 7).

Tabla 7. Resultado de encuesta sobre principios y medidas propuestas en el diseño de NDC. Fuente: Elaboración propia.

	Principio 1	Principio 2	Principio 3	Principio 4	Principio 5	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6	Medida 7
Apruebo	17	14	19	16	18	18	14	17	18	16	16	18
No apruebo	1	3	0	2	1	1	3	1	0	3	3	0
No sabe / No responde	1	2	0	1	0	0	2	1	1	0	0	1



PROPUESTA FINAL DE PRINCIPIOS PARA LAS NDC

La siguiente sección ha sido preparada a partir de las propuestas iniciales, los aportes entregados por los integrantes de la submesa y el marco de opciones planteadas por el Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierra (SRCCCL) del IPCC. Además, se han considerado las propuestas efectuadas por Lara *et al.* (2019).

Se han desarrollado los principios y medidas que se consideran prioritarios, reconociéndose la vigencia de todas las propuestas de la **Tabla 9**. Ejemplo de esto es el principio 4 (todas las regiones biogeográficas y administrativas deben aportar a la captura y secuestro de carbono), que no se desarrolló en detalle. De todos modos, este informe incluye aportes de los integrantes de esta submesa que abarcan las zonas áridas y semiáridas, el sur de Chile y la Patagonia.

Otra consideración general es que las NDC actuales comprometidas por Chile están sujetas a la aprobación o modificación de legislación actual, lo cual es un freno a que las metas se cumplan y se logre el resultado esperado en términos de mitigación. En esta propuesta se considera el enfoque inverso, según el cual las NDC deben incluir el compromiso de aprobar, modificar o mejorar el desempeño de determinadas leyes o reglamentos como vía para lograr el aumento de la captura, secuestro de carbono y reducción de emisiones del sector UTCUTS.

Principio 1

Maximizar la captura y secuestro de carbono

Principio 2

Asegurar que cualquier medida o incentivo se encuentre sujeto a una perspectiva de largo plazo con efecto permanente dentro de la dinámica ecosistémica

Los dos primeros principios se logran mediante la protección de los bosques nativos, turberas, humedales y otros ecosistemas naturales, así como a través de las plantaciones de especies nativas con fines de restauración, el manejo sustentable del bosque nativo (limitado a renovales) y la recuperación de bosques nativos, humedales y turberas degradadas mediante restauración. De especial relevancia es la protección de los bosques nativos intactos que no han sido intervenidos o han sido muy poco impactados por la acción antrópica y los bosques ribereños, los cuales son clave para mantener el servicio ecosistémico de provisión de agua en calidad y cantidad. Por otra parte, se debe dar prioridad a las acciones de protección y restauración a los ecosistemas amenazados que han sido identificados en la LRE de la IUCN en categorías como vulnerable, en peligro y en peligro crítico (Alaniz *et al.*, 2016; Alaniz *et al.*, 2019b). Una medida importante es implementar incentivos a la conservación y restauración de santuarios de la naturaleza y otras áreas protegidas privadas, mantención de remanentes de ecosistemas amenazados e implementar la LRE en los planes reguladores de las diferentes comunas, utilizando la categoría de amenaza como un indicador del uso de suelo potencial. Todas las medidas que se tomen y los incentivos o regulaciones deben propender a que tengan un efecto de mejora permanente, sistémica, y que sean flexibles y adaptativas con una visión de largo plazo.

Es importante considerar, además, a la industria forestal como un sector productivo de gran relevancia a nivel nacional. Su participación para alcanzar la meta de carbono neutralidad es el actual foco de discusión. Sin embargo, para hacer una contribución efectiva a la mitigación de gases de efecto invernadero, la industria forestal basada en plantaciones deberá adaptarse a los desafíos y necesidades del siglo presente y futuro, logrando así construir capital al mismo tiempo que genera beneficios sociales y ambientales.

Se ha documentado que diversos tipos de bosques nativos representan importantes reservorios de carbono y con una alta capacidad de absorción de CO₂. Dentro del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), el Instituto Forestal (Infor) estima —usando la metodología y estándares del IPCC (MMA, 2018)— que el bosque nativo captura anualmente -80 millones de toneladas de CO₂ eq, que se explican por el incremento de biomasa distribuida en 60 % por crecimiento de bosques jóvenes (renovales), 25 % por bosques ubicados en parques, reservas nacionales y otras unidades del SNASPE, y 15 % por bosques manejados según planes de manejo aprobados por Conaf.

Restadas las pérdidas por incendios y extracción de trozas, el balance es de -71 millones de toneladas de CO₂ eq de captura neta por el bosque nativo para dicho año. Esto indica que, según cifras oficiales, los bosques nativos son la principal fuente de remoción de gases de efecto invernadero para la mitigación del cambio climático. En el caso de que se manejen con una cobertura permanente (sin cortas), el carbono puede quedar secuestrado por siglos y hasta más de mil años. Dichas estimaciones demuestran la preponderancia



de los bosques nativos en el servicio ecosistémico de captura de carbono y regulación climática. Lo anterior indica la necesidad de que el Estado de Chile desarrolle políticas y adecúe sus NDC de tal manera que estos compromisos den una alta prioridad a la conservación, manejo sustentable y restauración del bosque nativo.

Principio 3

Minimizar las emisiones por pérdidas de cobertura vegetal asociadas a incendios, deforestación y otros cambios de uso del suelo

Este principio incluye el cambio hacia matorrales, plantaciones forestales, praderas, terrenos agrícolas por acción antrópica, incendios intencionales o accidentales, así como la degradación de bosques por tala selectiva (floreo) y ganadería. Esta reducción de emisiones debiera considerarse a partir de la situación actual, en la cual según cifras oficiales y de otras fuentes se estima que cada año 60.000 ha a 70.000 ha de bosque nativo se pierden debido a su conversión a otros usos, se ven afectados por incendios o se degradan (Tabla 3). Numerosos estudios compilados en este informe (Tablas 5 a 8) muestran la tendencia general a la disminución de la captura (fijación) y secuestro (acumulación) de carbono al reemplazar los bosques nativos por matorrales, praderas o terrenos agrícolas, así como disminuciones al reemplazar o degradar las turberas.

Se requiere también reducir las tasas de fragmentación a fin de mantener la integridad, funcionalidad, viabilidad, biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos, incluida la captura y secuestro de carbono de estos ecosistemas. Lo anterior requiere el establecimiento de estándares y regulaciones para la configuración espacial y grados de fragmentación o agregación de los diferentes ecosistemas.

Las acciones para disminuir la ocurrencia de incendios incluyen educar a la población para reducir las igniciones y, a través del ordenamiento territorial, generar paisajes más heterogéneos que bajen el riesgo de propagación de los incendios. Otra medida clave es desarrollar estándares en el establecimiento de normas para la construcción en zona de interfaz urbano rural que consideren el riesgo de incendios, lo cual puede ser apoyado por el desarrollo de modelos espacialmente explícitos que permiten calcular la probabilidad de ignición y expansión de incendios a partir de variables antropogénicas, climáticas y biofísicas del territorio (McWethy *et al.*, 2018). Para esto, podría considerarse la experiencia de países donde los incendios forestales de interfaz son también un gran problema, por lo que han creado normas como la AS3959 en Australia, o las NFPA 1.141 y 1.144 en Estados Unidos. En ellas se vincula y clasifica el suelo según zonas de prioridad de protección, para exigir, en consecuencia, que las edificaciones cumplan con características apropiadas para asegurar el tiempo suficiente de evacuación y vías de evacuación para los habitantes. Por su parte, el Protocolo de Plantaciones Forestales elaborado por Conaf en 2017 con la participación de profesionales de la academia, empresas y organizaciones ciudadanas es un primer intento en avanzar hacia criterios comunes, en ese caso voluntarios, pero que debieran ser obligatorios (Conaf, 2017).

Otros factores de riesgo de incendios a los que Chile debe comprometerse para generar estándares y regulaciones son la carga tipo, distribución de combustibles y su continuidad vertical y horizontal (mencionada como medida M5). Esto se logra mediante podas, tamaño de los parches homogéneos de plantaciones (rodales), diseño y mantención de cortafuegos, y líneas de transmisión eléctrica y el control de especies invasoras pirófitas (adaptadas al fuego), como retamo (*Teline monspesulanum*), espinillo (*Ulex europaeus*), pino radiata (*Pinus radiata*) y pino contorta (*Pinus contorta*) (medida 6).

Una medida urgente de gran relevancia a incluir en las NDC de Chile es prohibir las quemas agrícolas en todas las regiones del país y época del año, para ser reemplazadas por métodos alternativos de eliminación de desechos. Esto debido a que son una fuente importante de emisiones, contaminación atmosférica asociada a inversiones térmicas y riesgos de incendios. Esta medida es totalmente factible, como lo demuestra el reemplazo de las quemas en las operaciones de cosecha a tala rasa por las empresas forestales hace más de una década, y el reemplazo por trituración para producir biomasa combustible, ordenamiento de desechos y descomposición *in situ*. Además, las NDC deben incluir metas y acciones para mejorar las prácticas agrícolas y de cosecha a tala rasa de las plantaciones, evitando la erosión del suelo. Un estudio reciente documenta pérdidas importantes de suelos asociadas a cosechas forestales (Banfield *et al.*, 2018), lo que conlleva no solo una reducción de la productividad del sitio, sino también pérdidas de carbono secuestrado en el suelo que es liberado a la atmósfera.

Según el INGEI (MMA, 2016), los incendios —de los cuales más del 99% tienen origen antrópico por negligencia o intencionales—, la falta de ordenamiento y la conversión de bosques nativos a otros usos del suelo son las principales amenazas para los bosques nativos, y las fuentes más importantes de emisiones de



CO₂ de los bosques nativos del sector UTCUTS. Por lo tanto, se propone que Chile comprometa dentro de sus NDC a prevenir y reducir en forma efectiva el riesgo y ocurrencia de incendios, así como la conversión a otros usos del suelo.

Estas acciones coinciden con el manejo del fuego planteado como una medida de adaptación y mitigación propuesta por el IPCC en el informe SRCCL.

Principio 4

Todas las regiones biogeográficas, ecosistemas terrestres, regiones administrativas y actividades del sector UTCUTS debieran aportar a estas metas

Entre los ecosistemas prioritarios a incorporar en las NDC por la gran cantidad de carbono que son capaces de secuestrar están los diferentes tipos de humedales presentes en todas las regiones de Chile. Los humedales no solo capturan y almacenan carbono, sino que también proveen otros importantes servicios ecosistémicos, entre los que destacan el filtrado y mantención de calidad de agua, la regulación del flujo de agua, la reducción de ocurrencia de inundaciones y la regulación de las temperaturas en áreas aledañas. Esto además de su belleza natural, servir como vías de transporte, proveer oportunidades de turismo y ser provisión de hábitat para una alta diversidad de especies de flora y fauna, como es el caso de las aves, por lo que son vitales para la actividad de ocio de observación.

Dentro de los humedales destacan las turberas, que abarcan 3,2 millones de hectáreas en Magallanes y Aysén, y los bofedales, que tienen gran relevancia en la zona altiplánica entre las regiones de Arica y Parícuta y Coquimbo. Ambos sistemas vegetacionales constituyen importantes reservorios de carbono (Domínguez y Vega-Valdés, 2015). Por lo tanto, debiera incorporarse a las NDC el poner fin a la intervención, degradación y conversión de turberas a otros usos del suelo (medida o), a fin de que las turberas mantengan su condición de reservorios y evitar que lo pierdan al explotarse, degradarse o cambiarse a otros usos del suelo (por ejemplo, agroecosistemas) (Tabla 5). La protección debiera ser a través de modificaciones legales, creación de nuevas áreas protegidas en áreas amenazadas sin protección, establecimiento de impuestos e investigación de estos ecosistemas insuficientemente conocidos. El reglamento de extracción de *Sphagnum* implementado por el SAG en 2018 (Minagri, 2017) es un avance, pero debe haber medidas mucho más enérgicas para resguardar este importante reservorio de carbono y agua. El servicio ecosistémico —expresado como emisión evitada de dióxido de carbono, además de la regulación de los flujos hídricos— justifica plenamente la protección absoluta de las turberas y bofedales. Además, es necesario abordar otras causas de degradación representadas por la actividad industrial y las poblaciones de castor como especie invasora en Magallanes. Se requiere la implementación de una política binacional entre Chile y Argentina, de manera de avanzar hacia la erradicación de esta especie invasora que está teniendo un significativo impacto sobre las emisiones de carbono y metano, así como la alteración de los hábitats ribereños y recursos hídricos.

En forma análoga, se debieran proteger los demás tipos de humedales y fomentar su restauración, lo cual también es una de las opciones de medidas de mitigación mencionadas en el informe SRCCL del IPCC para mantener el carbono secuestrado y que no sea liberado a la atmósfera. Además, se requiere la modificación del Reglamento de Suelo Aguas y Humedales de la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283), de tal manera de proteger todas las turberas y humedales, en contraste con el reglamento actual, que solo incluye los 14 humedales clasificados como sitios de la Convención Ramsar.

Principio 5

Estimar los compromisos (trade-offs) e impactos negativos esperados de las medidas de NDC, e incorporar el análisis de ciclo de vida

Se requiere la evaluación previa de los compromisos e impactos negativos de las acciones de mitigación que buscan aumentar la captura y el secuestro de carbono. Estos potenciales impactos negativos incluyen la reducción de caudales, de la biodiversidad, aumentos de las tasas de erosión con las cosechas forestales a tala rasa y efectos sociales no deseados. Además, en el cálculo del balance entre captura y emisiones de las plantaciones forestales efectuadas por el INGEI, es necesario hacer estimaciones que incorporen de forma correcta el concepto de análisis de ciclo de vida, que considere insumos de entrada como el petróleo en la maquinaria y el transporte; fertilizantes, herbicidas y otros químicos; y la permanencia del carbono en los diferentes productos de la madera antes de ser liberado nuevamente a la atmósfera.

El análisis de ciclo de vida en Chile ha mostrado que para producir un metro cúbico de madera de eucalipto, se liberan 16,3 kg de CO₂ eq (Morales et al., 2015). Este análisis es fundamental para no sobrestimar la



capacidad de captura y secuestro de cualquier sistema productivo. La información sobre el análisis de ciclo de vida debe ser pública, transparente y verificable, de otra forma no habrá incentivos a la mejora en la eficiencia de los procesos, ni credibilidad en el sistema a nivel nacional e internacional.

Respecto de la necesidad de considerar los *trade-offs* que resultan de diferentes medidas de mitigación para el diseño de las propuestas para la adecuación de las NDC, un estudio reciente estimó los compromisos entre captura de carbono y provisión de agua en las cuencas, en especial cuando se trata de plantaciones forestales con especies exóticas.

Por último, el informe SRCCL del IPCC propone un conjunto de opciones de mitigación y adaptación al cambio climático de carácter transversal, como el desarrollo de capacidades, entrenamiento, fortalecimiento de la transferencia de conocimientos, tecnología y mecanismos de financiamiento. Es necesario que el Estado de Chile establezca compromisos referidos a estas medidas.



Recomendaciones

INFORME ESPECIAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y TIERRA COMO CONTEXTO

El Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierra (SRCCL) del IPCC (2019) es una gran innovación, pues hace un análisis integrado y sistemático de las relaciones entre el cambio climático y el uso de la tierra, la agricultura, los procesos de erosión de suelos, de degradación de tierras y la seguridad alimentaria. El informe es pertinente para los sectores agricultura y uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Es un documento que se basa en la evidencia científica para llamar a actuar y limitar el calentamiento global a 1,5°C, en vez de 2°C, para evitar el impacto que esto tendría para los ecosistemas y la sociedad. El informe aparece justo en el momento en que Chile y diferentes naciones inician una discusión sobre la adecuación de las NDC.

El informe analiza la contribución potencial a escala global de las opciones de respuesta para la mitigación y adaptación al cambio climático, simultáneas con la lucha contra la desertificación y la degradación de tierras y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. De esta forma, se estudia en forma integrada la magnitud y costo relativo que tendrían las respuestas de un total de 28 opciones no excluyentes, de las cuales 19 están basadas en el manejo de la tierra y 9 en el manejo de la cadena de valor.

Respecto de las primeras, 8 corresponden a agricultura (por ejemplo, aumento de la productividad de alimentos, agroforestería, manejo integrado del agua); 2 a bosques (manejo forestal y reducción de deforestación y degradación de bosques); 4 a suelos (por ejemplo, el aumento del contenido de carbono orgánico en el suelo, la reducción de la erosión de suelo y la reducción de su compactación) y 5 a otros ecosistemas (como el manejo del fuego, la restauración y reducción de los humedales costeros y las turberas, y la reducción de deslizamientos y desastres naturales).

El amplio espectro de opciones de respuesta de mitigación y adaptación ofrecidas por el informe da las bases para proponer y desarrollar medidas con las que Chile se puede comprometer, mucho más diversas y ambiciosas que las actuales y las en discusión por el Gobierno, más allá de forestar, manejar o recuperar un cierto número de hectáreas de bosque.

PROPUESTA DE MEDIDAS PARA LAS NDC

Esta sección incluye 12 medidas sugeridas por la submesa para ser incorporadas a las NDC.

Protección y recuperación

Medida 1

Chile se compromete a partir de 2020 a mejorar el manejo de las plantaciones y paisajes dominados por ellas, junto a otras medidas enfocadas a reducir las tasas de ocurrencia de incendios (principal causa de emisiones del sector UTCUTS a un promedio de 60.000 ha anuales para la década 2020-2030 para cada uso del suelo en las diferentes regiones y para el total).²

² En la década 2010-2019, los promedios anuales son: plantaciones forestales: 45.000; matorrales: 25.000, bosques nativos: 18.000; pastizales: 17.000; total: 105.000. El promedio anual en el largo plazo 1987-2016 es de 54.000 ha anuales, sin considerar 2017.



Esta puede considerarse la principal medida del sector UTCUTS, ya que los incendios en su régimen actual y el que puede proyectarse generan incertidumbre y afectación del balance de carbono nacional, lo que pone en riesgo la viabilidad de avanzar hacia la meta de carbono neutralidad en 2050.

Al respecto, el INGEI calcula que las emisiones de los incendios de plantaciones y bosques nativos en 2015 alcanzaron 24 millones de toneladas de CO₂ eq. y se estima que en 2017 esta cifra alcanzó cerca de 100 millones de toneladas (MMA, 2019). El aumento sustancial del área quemada durante la última década (comparada con el período anterior) cuestiona seriamente la viabilidad del sector UTCUTS para mitigar las emisiones en Chile. Estos desafíos se ven incrementados por la proyección de que la tendencia anterior se mantenga o aumente debido a la reducción de precipitaciones, aumento de la ocurrencia y duración de sequías, y aumento de temperaturas asociadas al cambio climático. De no lograrse la meta de reducir los incendios a la mitad, aumentaría la necesidad de bajar las emisiones más allá de lo proyectado hacia 2050, y medidas como plantaciones o manejo de bosques nativos con fines de mitigación ya no serán suficientes.

Para alcanzar esta meta, Chile se compromete a las siguientes medidas específicas:

- › Establecer subsidios y otros incentivos para la diversificación de los paisajes a través de la restauración. De esta forma se buscará lograr una combinación de diferentes usos del suelo como base para la provisión de bienes (por ejemplo, madera y alimentos) y servicios ecosistémicos (como provisión de agua, regulación de los caudales, oportunidades de recreación, turismo y la mantención de costumbres ancestrales).
- › Perfeccionar el protocolo de plantaciones de carácter voluntario que fue acordado entre los diferentes actores del sector forestal en 2017 (Conaf, 2017) y establecer la capacidad para un reglamento obligatorio que limite las áreas continuas de plantaciones, la carga de rastrojo (combustible para incendios), el ancho de los cortafuegos, y perímetros de seguridad en torno a áreas urbanas y carreteras. El reglamento debiera considerar el tamaño máximo de las talas rasas, junto con medidas de conservación de suelos para evitar la erosión y pérdida de carbono, así como anchos mínimos de las fajas de protección en torno a los cursos y cuerpos de agua. Además, sobre la base del tamaño de las talas rasas, debiera dictar un reglamento obligatorio y generar una institucionalidad, capacidades humanas y recursos para hacerlo cumplir.
- › Desarrollar un programa de trabajo con las comunidades, las organizaciones locales (juntas de vecinos, comités de agua potable rural, asociaciones de productores), representantes de empresas, agricultores, trabajadores forestales, propietarios, estudiantes y otros actores, a fin de identificar y entender en profundidad las motivaciones para causar incendios por negligencia o de manera intencional, respetando las diversas culturas y situaciones en el país.
- › Sobre esta base, diseñar e implementar en conjunto con estos actores un programa de educación y prevención de incendios, así como de reporte y combate temprano del fuego, considerando la diversidad cultural y de situaciones de nuestro país.

Medida 2

Chile se compromete a partir de 2025 a reducir las tasas de conversión y degradación de bosques nativos y formaciones xerofíticas a otros usos del suelo —principal amenaza para las capturas de carbono del sector UTCUTS y mitigación de las emisiones en Chile— en 50 %, tomando como base el promedio anual en el período 1995-2016.³

Esta es la siguiente medida en orden de importancia del sector UTCUTS, ya que de ella depende mantener la principal fuente de captura de CO₂ (captura neta de los bosques nativos 65 a 70 millones de toneladas anuales en el período 2007-2016) y poder avanzar hacia la meta de carbono neutralidad en 2050.

Para alcanzar esta meta, Chile se compromete a las siguientes medidas específicas:

- › Hacer las modificaciones necesarias a los reglamentos y a Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, de tal manera de aumentar su presupuesto y los montos por hectárea pagados por acciones de conservación y restauración de bosques nativos.
- › Establecer un sistema de créditos con baja tasa de interés para que los propietarios puedan llevar a cabo las intervenciones y devolverlos cuando les paguen los subsidios (históricamente 2 a 3 años después), además de eliminar el mecanismo de concurso y agilizar el procedimiento para el otorgamiento de subsidios. Así se resolvería el problema de que entre 2008 y 2018, solo el 23 %

3 Estos promedios de área de conversión y pérdida anual de bosques nativos hacia otros usos del suelo son 11.500 ha en el período 1995-2016, y 38.000 ha para degradación en el período 2001-2010.



del presupuesto disponible ha sido cobrado, y que el presupuesto que era de US\$ 6 a 10 millones anuales entre 2008 y 2010 se redujo a US\$ 2,6 millones en 2018, debido a que no se ejecutó dicho presupuesto.

- › Establecer un programa de capacitación y acompañamiento a los propietarios para el manejo de sus bosques nativos.
- › Modificar la legislación para que las cortas ilegales sean vistas en Fiscalía y así aumentar con fuerza las sanciones en el caso de corta ilegal de bosque nativo, denuncias que en la actualidad son vistas en los Juzgados de Policía Local, lo cual ha demostrado ser poco efectivo. Las cortas ilegales son una de las principales causas de degradación de los bosques nativos y a veces también de su conversión a otros usos de suelo (por ejemplo, agropecuario o matorrales).
- › Establecer un programa en conjunto con actores del medio rural para diseñar e implementar un sistema de pastoreo regulado del ganado en los bosques nativos, que permita la obtención de beneficios económicos a los propietarios del ganado y que reduzca las inequidades, pero sin degradar los bosques nativos.

En relación con lo anterior, cabe destacar la participación de Chile en el programa REDD+ de Naciones Unidas. Este programa nace para apoyar los esfuerzos por reducir las emisiones enfocándose en las siguientes cinco actividades principales: disminuir las tasas de deforestación y degradación forestal, promover la conservación, el manejo sustentable de los bosques y el aumento de los stocks de carbono. A través de Conaf (2016b), Chile participa desde el año 2014. Para el desarrollo de REDD+ se consideran tres fases, las cuales en Chile han sido adoptadas por la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENC-CRV): preparación, implementación y pago por resultados. Para acceder a la fase de pago por resultados, que es donde se compensa a los actores involucrados por las actividades de reducción de emisiones, los países deben cumplir con cuatro requerimientos, los cuales ya han sido cumplidos por nuestro país en 2018. Dichos requerimientos corresponden a: i) una estrategia nacional, para lo que Chile cuenta con la ENCCRV (Conaf, 2016a); ii) un documento que resuma la forma en que se están abordando y respetando las salvaguardas ambientales y sociales, para lo que Chile cuenta con el Marco de Gestión Ambiental y Social de la ENCCRV (Conaf, 2018a); iii) un nivel de referencia de emisiones forestales (bosque nativo), para lo que Chile presentó el primer informe desde las regiones del Maule a Los Lagos (Conaf, 2016b); y iv) un sistema nacional de monitoreo forestal que mida, reporte y permita la verificación de resultados de las estrategias nacionales, para lo que Chile cuenta con el Sistema de Medición y Monitoreo de la ENCCRV (Conaf, 2018b).

Medida 3

Chile se compromete al 2025 a modificar el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales —parte de la Ley 20.283—, de manera de incluir en diferentes categorías de conservación a todas las turberas y humedales del país, otorgándoles una protección efectiva.

Estas categorías debieran considerar desde la protección absoluta en el caso de las de alto valor de conservación, hasta aquellas en las cuales se permite su aprovechamiento en forma sustentable, previniendo su degradación o cambio por otros usos del suelo (por ejemplo, humedales transformados en zonas urbanas). El Ejecutivo tiene las atribuciones para hacer estas modificaciones a través del Ministerio de Agricultura.

Medida 4

Chile se compromete al 2025 a dictar la ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP).

Dentro de este servicio, se busca incentivar la protección y restauración de ecosistemas con alto valor para la conservación debido a su biodiversidad, capacidad de captura o secuestro de carbono, provisión de agua, regulación de flujos hídricos y de otros servicios ecosistémicos. Esto en áreas protegidas públicas y privadas, así como en los remanentes de ecosistemas naturales en predios privados que forman la matriz del paisaje con dedicación principalmente productiva (ganadería, agricultura, viticultura, silvicultura). Esto permitiría la conectividad territorial y constitución de paisajes en que se compatibilice la producción de bienes (como madera y alimentos) y servicios ecosistémicos, incentivando al sector privado a contribuir de manera formal a la mitigación del cambio climático a través del secuestro de carbono a largo plazo en remanentes de bosques y matorrales nativos.



Medida 5

Chile se compromete al 2030 a dictar una ley de ordenamiento territorial como base para una Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT) en el contexto del cambio climático y de sus proyecciones futuras.

Esto otorgará la base para el establecimiento de planes de ordenamiento territorial que sean vinculantes y constituyan un mecanismo de regulación efectivo que prohíba, restrinja, permita o promueva determinados usos del suelo y actividades económicas en el territorio, como los implementados hace una o más décadas en diversos países.

Medida 6

Como sexta medida, Chile se compromete al 2025 a adoptar un sistema de LRE para la identificación, monitoreo y protección de aquellos ecosistemas estratégicos para la mitigación y adaptación al cambio climático, como bosques nativos intactos, turberas y humedales.

Medida 7

Chile se compromete al 2030 a haber detenido en su totalidad la conversión y la degradación de bosques antiguos intactos, turberas y humedales identificados en la LRE.

Medida 8

Chile se compromete al 2020 a incorporar dentro de sus metodologías de evaluación de balance de carbono en sector UTCUTS aquellas dinámicas del ciclo hidrológico propias de un manejo integrado de cuenca, relacionadas con el tipo de cobertura vegetal, de modo que sea posible evaluar y proyectar las afecciones que el abastecimiento de agua presente según determinadas medidas de mitigación, como la reforestación.

Fomento

Medida 9

Chile se compromete al 2025 a diseñar e implementar un Plan de Restauración de Ecosistemas 2025-2055, con expresión espacial a escala comunal y un presupuesto anual de al menos US\$250 millones de dólares con un crecimiento de 5 % anual, priorizando a favor de los propietarios de menores recursos y privilegiando otras formas de corregir las inequidades existentes entre quienes están interesados en restaurar.

El área por abarcar en su totalidad cada año será definida por el panel formado por diferentes investigadores y profesionales dirigido por Conaf según estándares de costos que garanticen un uso eficiente de los recursos. Este programa de restauración articulará los esfuerzos de actores públicos y privados, focalizará las bonificaciones de la Ley de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, y otros fondos públicos que se establezcan para aumentar el área de bosques nativos, turberas, humedales, aumentar la conectividad entre parches, proveer hábitat para diferentes especies, y eliminar o reducir la invasión de plantas, como el espinillo (*Ulex europaeus*), pino contorta (*Pinus contorta*) y de animales como el castor (*Castor canadensis*) y el visón (*Neovison vison*).

Conocimiento

Medida 10

Chile se compromete al 2025 a constituir, por medio de Conaf, un panel de expertos en el cual participe el coordinador del equipo del Instituto Forestal a cargo del Sector UTCUTS del INGEI, además de especialistas de diferentes instituciones gubernamentales, académicas, consultores y organizaciones de la sociedad civil.

Este panel será de carácter permanente y tendrá el objetivo de definir una metodología de monitoreo y registro de los cambios en la cobertura forestal nacional, así como la validación de los informes de actualización y monitoreo de la cobertura de los bosques nativos y otros usos del suelo que periódicamente elabora Conaf. Esta medida busca generar consenso nacional respecto de la información existente sobre cobertura forestal y otros parámetros asociados. En este panel también participarán investigadores y profesionales de diferentes instituciones, quienes tienen experticia en inventarios y modelamiento forestal, balances de carbono en bosques, plantaciones, cambio de uso del suelo, turberas y humedales, y otras disciplinas asociadas para apoyar la labor que hace el Instituto Forestal para el Ministerio del Medio Ambiente en la determinación



de las capturas y emisiones del sector UTCUTS según la metodología del IPCC, generando gradualmente coeficientes específicos para Chile.⁴ El panel tendrá también la responsabilidad de asesorar al Gobierno en el diseño, implementación y monitoreo del plan de restauración para lo cual deberá contar con los especialistas requeridos.

Medida 11

Chile se compromete al 2030 a tener un programa de monitoreo de carbono en sistemas naturales, el cual deberá estudiar al menos tres ecosistemas diferentes —lo que incluye las plantaciones forestales— para el monitoreo y reporte de captura, emisiones y balance de carbono de los ecosistemas nacionales.

Dichos sistemas deberán ser consistentes y comparables en cuanto resultados, con estudios en Chile y a nivel internacional. Uno de los sistemas de monitoreo deberá considerar el fortalecimiento de la red de torres de monitoreo eddy covariance de Chile (en la actualidad hay tres).

La administración de este programa de monitoreo estará a cargo del grupo de trabajo sobre carbono de UTCUTS bajo la dirección del Instituto Forestal. Esto permitirá la generación de información para determinar las tasas de pérdida y degradación de los bosques y otros ecosistemas nativos, y estimar en forma certera las capturas y emisiones de CO₂ de los bosques nativos, plantaciones, matorrales, desiertos, praderas y terrenos agrícolas. Así se conocerá si estos ecosistemas están actuando como fuentes o sumideros de dióxido de carbono, y además cuánta agua utilizan estos ecosistemas.

Medida 12

Chile se compromete al 2025 a conformar y financiar tres centros de investigación interdisciplinaria para abordar no solo el estudio del cambio climático, sino también las medidas de mitigación y adaptación, y tres centros adicionales al año 2030.

Dichos centros deben complementarse y coordinarse entre ellos, así como con los centros y grupos de investigación existentes. Estos centros deberán tener un carácter público-privado, con una perspectiva interdisciplinaria que integre el conocimiento científico con otros tipos de saberes. Deberán, además, incluir los aspectos biofísicos, sociales, políticos y culturales en el estudio de los socioecosistemas y regiones. A fin de contrarrestar el centralismo de la economía, servicios y generación de conocimiento en Chile, al menos cuatro de ellos estarán ubicados en regiones diferentes a la Región Metropolitana. Estarán regidos por un Consejo presidido por el ministro de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, quien los apoyará y se asegurará de que se cumplan sus objetivos científicos, se coordinen y colaboren con otros centros y grupos de investigación a nivel nacional e internacional. Este consejo velará en especial por que los centros tengan programas efectivos de comunicación y transferencia del conocimiento, vinculación con la sociedad y que efectúen recomendaciones de política basadas en la evidencia científica.

4 Lo anterior sería un aporte al mejoramiento continuo de las estimaciones, ya que permitiría incorporar con agilidad la información que está siendo generada en la academia y en otras fuentes respecto de crecimiento, sanidad, stocks y balances anuales de carbono. El mejoramiento en el monitoreo del sector UTCUTS dentro del INGEI es esencial para la adecuación periódica de las medidas de mitigación. De esta forma, se mejorará el INGEI que reporta el Gobierno de Chile al IPCC y servirá como base para el diseño de instrumentos de política para aumentar la captura y secuestro de carbono, reducir las emisiones e incorporar medidas de mitigación que sean compatibles con mantener los servicios ecosistémicos hídricos (provisión de agua en cantidad y calidad, regulación de caudales) y otros servicios ecosistémicos.



REFERENCIAS

- Ahlström, A., Raupach, M.R., Schurgers, G., Smith, B., Arneth, A., Jung, M., Reichstein, M., Canadell, J.G., Friedlingstein, P., Jain, A.K., Kato, E., Poulter, B., Sitch, S., Stocker, B.D., Viovy, N., Wang, Y.P., Wiltschire, A., Zaehle, S., Zeng, N. (2015). The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science* 348: 895-899.
- Alaniz AJ, Carvajal MA, Núñez-Hidalgo I, Vergara PM (2019b) Chronicle of an Environmental Disaster: Aculeo Lake, the Collapse of the Largest Natural Freshwater Ecosystem in Central Chile. *Environmental Conservation* Doi 10.1017/S0376892919000122
- Alaniz AJ, Carvajal MA, Smith-Ramírez C, Barahona-Segovia R, Vielí L (2018) Habitat loss of a rainforest specialist pollinator fly as an indicator of conservation status in South American Temperate Rainforests. *Journal of Insect Conservation* 22(5) 745-755.
- Alaniz AJ, Galleguillos M, Perez-Quezada J. (2016). Evaluation of validity of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: The case of the central Chile hotspot. *Biological Conservation*. 204:378-385.
- Alaniz AJ, Perez-Quezada JF, Galleguillos M, Vásquez AE, Keith DA (2019a). Operationalizing the IUCN Red list of Ecosystems in public policy. *Conservation Letters*. Doi: 10.1111/conl.12665
- Almeida, A. C., Smethurst, P. J., Siggins, A., Cavalcante, R. B. L. and Borges, N.: Quantifying the effects of Eucalyptus plantations and management on water resources at plot and catchment scales, *Hydrol. Process.*, doi:10.1002/hyp.10992, 2016.
- Almeida, A. C., Soares, J. V., Landsberg, J. J. and Rezen-de, G. D.: Growth and water balance of Eucalyptus grandis hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production, *For. Ecol. Manage.*, doi:10.1016/j.foreco.2007.06.009, 2007.
- Alvarez-Garretón, C., Lara, A., Boisier, J. P. and Galleguillos, M.: The Impacts of Native Forests and Forest Plantations on Water Supply in Chile, *Forests*, 10(6), 473, doi:10.3390/f10060473, 2019.
- Armesto, J. J., Manuschevich, D., Mora, A., Smith-Ramírez, C., Rozzi, R., Abarzúa, A. M., & Marquet, P. A. (2010). From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. *Land Use Policy*, 27(2), 148-160. doi: 10.1016/j.landusepol.2009.07.006
- Armesto, J. J., Smith-Ramírez, C., Carmona, M. R., Celis-Díez, J. L., Díaz, I. A., Gaxiola, A., ... Rozzi, R. (2009). Old-Growth Temperate Rainforests of South America: Conservation, Plant-Animal Interactions, and Baseline Biogeochemical Processes. In C. Wirth, G. Gleixner, & M. Heimann (Eds.), *Old-Growth Forests* (pp. 367-390). Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-92706-8_16
- Australian standard®. AS3959. (2009). Construction of buildings in bushfire- prone areas. 107 p.
- Azua-Bustos, A., González-Silva, C., Corsini, G. (2017). The hyperarid core of the Atacama Desert, an extremely dry and carbon deprived habitat of potential interest for the field of carbon science. *Frontiers in Microbiology* 8: 933. doi: 10.3389/fmicb.2017.00993
- Banfield, C., Braun A., Barra R., Castillo A., Vogt J. (2018). Erosion proxies in an exotic tree plantation question the appropriate land use in Central Chile. *Catena*, Volume 161: 77 – 84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.017>
- Barahona-Segovia R.M., S.J. Crespin, A.A. Grez & C. Veloso (2019) Anthropogenic thermal gradient in managed landscapes: changes in ambient temperatures interact with physiological restrictions to limit abundance and distribution on ectothermic arthropods. *Forest Ecology and Management* 440: 147-157.
- Bastin, J., Finegold, Y., Garcia, C. & Mollicone, D. The global tree restoration potential. 79, 76– 79 (2019).
- BCN (2017). Reportes estadísticos comunales. https://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php/San_Jos%C3%A9_de_Maipo
- Boisier, J. P., Alvarez-Garretón, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., Lambert, F., Ramallo, C., Rojas, M. and Rondanelli, R.: Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations, *Elem Sci Anth*, 6(1), 74, doi:10.1525/elementa.328, 2018.
- Boisier, J. P., Alvarez-Garretón, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., Lambert, F., Ramallo, C., Rojas, M. and Rondanelli, R.: Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations, *Elem Sci Anth*, 6(1), 74, doi:10.1525/elementa.328, 2018.
- Boisier, JP, Rondanelli, R, Garreaud, RD and Muñoz, F. (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters* 43(1): 413-421. DOI: <https://doi.org/10.1002/2015GL067265>
- Bowman, D., Moreira, A., Kolden, C., Chávez, R., Muñoz, A., Salinas, F., González, A., Rocco, R., de la Barrera, F., Williamson, G., Borchers, N., Cifuentes, L., Abatzoglou, J., Johnston, F. (2018). Human-environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio* doi: 10.1007/s13280-018-1084-1.
- Cabezas J., Galleguillos M., Valdés A., Fuentes J.P., Pérez, C., Perez-Quezada, J.F. 2015. Evaluation of impacts of management in an anthropogenic peatland using field and remote sensing data. *Ecosphere* 6(12): 282.
- Calder, I. R.: Forests and water-Ensuring forest benefits outweigh water costs, *For. Ecol. Manage.*, 251(1-2), 110-120, doi:10.1016/j.foreco.2007.06.015, 2007.
- Camus, P. (2006). *Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile, 1541-2005*. DIBAM.
- Cano, S. 2019. Reservorios de carbono, nitrógeno y fósforo en agroecosistemas de la Isla de Chiloé. Tesis Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Universidad de Chile.



REFERENCIAS

- Carvajal MA & Alaniz AJ (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.
- Carvajal MA, Alaniz AJ, Smith-Ramírez C, Sieving KE (2018) Assessing habitat loss and fragmentation and their effects on population viability of forest specialist birds: Linking biogeographical and population approaches. *Diversity and Distributions*. 24(6) 820-830.
- Castillo, M. (2015). Diagnosis of Forest Fires in Chile. In: *Wildland Fires - A worldwide reality*. Book. Elsevier. 211-224. Nova Publishers.
- Castillo, M., Garfias, R., Julio, G., González, L. (2012). Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Inter ciencia* 37: 796-804.
- Castillo, M., Molina, J-R., Rodríguez y Silva, F., García-Chevesich, P., Garfias, R. (2016). A system to evaluate fire impacts from simulated fire behavior in Mediterranean areas of Central Chile. *Science of the Total Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.139>.
- Castillo, M., Molina, J-R., Rodríguez y Silva, F., Julio, G. (2013). Fire vulnerability model in Mediterranean ecosystems of South America. *Ecological Informatics* 13, 106-113. DOI:10.1016/j.ecoinf.2012.06.004
- Cerda, Y., Grez, A.A., & Simonetti, J.A. (2015) The role of the understory on the abundance, movement and survival of *Ceroglossus chilensis* in pine plantations: an experimental test. *Journal of Insect Conservation*, 19: 119-127.
- Chazdon, R. L., Brancalion, P. H. S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., ... Wilson, S. J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, 45(5), 538-550. doi: 10.1007/s13280-016-0772-y
- CONAF (2016). Nivel de Referencia de Emisiones Forestales/Nivel de Referencia Forestal Subnacional de Chile NREF/NRF. Santiago, Chile. 125 pp.
- CONAF (2017) Protocolo de Plantaciones Forestales. http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1509997251ProtocoloPlantacionesForestalesinteractivo.pdf
- CONAF. (2011). *Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Monitoreo de cambios y actualizaciones. Periodo 1997-2011* (p. 28). Santiago, Chile: Corporación Nacional Forestal.
- CONAF. (2015). *Chile. Criterios e indicadores para la conservación y el manejo sustentable de los bosques templados y boreales. El Proceso Montreal. Segundo reporte nacional 2003-2015*.
- CONAF. (2019). Cifras oficiales Catastros Usos de Suelo y Recursos Vegetacionales noviembre de 2018. Consultado el 20 de agosto de 2019. <http://sit.conaf.cl/>.
- CONAF-CONAMA-BIRF. (1999). Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.
- Consejo de Política Forestal (2017) Política Forestal 2015-2035: Protocolo de Plantaciones Forestales. Corporación Nacional Forestal, Santiago.
- Creed, I., Jones, J., Archer, E., Claassen, M., Ellison, D., McNulty, S., Noordwijk, M., Vira, B., Wei, X., Bishop, K., Blanco, J., Gush, M., Gyawali, D., Jobbagy, E., Lara, A., Little, C., Martin - Ortega, J., Mukherji, A., Murdiyaro, D., Ovando, P., Sullivan, C., Xu, J. (2019). Managing Forests for Both Downstream and Downwind Water. *Frontiers in Forests and Global Change*. Volume 2; 1 - 8.
- Curtis, P. G., Slay, C.M., Harris, N.L., Tyukavina, A. and Hansen, M.C. 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science* 361: 1108-1111.
- Damschen E., Brudvig L., Burt M., Fletcher R., Haddad N., Levey D. (2019). Ongoing accumulation of plant diversity through habitat connectivity in an 18 - year experiment. *Science*. Vol. 365, Issue 6460, pp. 1478-1480. DOI: 10.1126/science.aax8992.
- De la Barrera F, Barraza F, Favier P, et al (2018) Mega-fires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Sci Total Environ* 637-638:1526-1536. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.119
- DIARIO EL DÍA. 2019. <http://www.diarioidia.cl/economia/muertes-ganado-caprino-por-sequia-ya-se-cuentan-por-miles-en-region>
- Díaz, H. y Sánchez C. 2002. México Diverso: El debate por la autonomía. Siglo XXI, México, 2002. 176 p.
- Domínguez, E., Vega-Valdés, D., (2015). Análisis espacial de la distribución geográfica de las Turberas de *Sphagnum* de la Región de Magallanes y Antártica Chilena, in: Domínguez, E., Vega-Valdés, D. (Eds.), *Funciones y Servicios Ecosistémicos de Las Turberas En Magallanes-Colección de Libros INIA N° 33*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Punta Arenas, Chile, p. 334.
- Driscoll, D.A., Banks, S.C., Barton, P.S., Lindenmayer, D.B., & Smith, A. L. (2013) Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, 28: 605-613.
- Dube, F., Espinosa, M., Stolpe, N. & Zagal, E. (2016) Relación de los sistemas silvopastorales con el cambio climático y la potencial captura de carbono, en Sotomayor, A. & Barros, S. (eds). *Los sistemas agroforestales en Chile*, Instituto Forestal, Santiago: 317-336
- Erb, K. H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A. L. S., Carvalhais, N., Fetzel, Gingrich, S., Haber, H., Lauk, C., Niedertscheider, M., Pongratz, M., Thurner, M. Luyssaert, S. 2018. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553: 73.
- ESCOBAR, C. 2017. La cultura de sistemas sociales tradicionales locales de Chile visto a través de sus viviendas. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- FAO. 2002. http://www.fao.org/3/ac836e/AC836E01.htm#P45_290.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *Global Forest Resources Assessment*. Roma, Italia. 245 p.



REFERENCIAS

- Flores-Rentería, D., Rincón, A., Morán-López, T., Here-
A. M., Pérez-Izquierdo, L., Valladares, F., & Yuste, J.
C. (2018) Habitat fragmentation is linked to cascading effects on soil functioning and CO₂ emissions in Mediterranean holm-oak-forests. *PeerJ*, 6, e5857.
- García-Chevesich, P., Pizarro, R., Stropki, C., Ramírez de Arellano, P., Folliott, P., DeBano, L., Neary, D., Slack, D. (2010). Formation of post-fire water-repellent layers in Monterrey pine (*Pinus radiata* D.Don) plantations in South-Central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10, 399-406.
- García-Chevesich, P.; Martínez, E.; García, A.; Castillo, M.; Garfías, R.; Neary, D.; Pizarro, R.; Valdés, R.; González, L.; Venegas-Quñones, I.; Magni, C. (2019). Formation of Post-Fire Water Repellent Layers on *Nothofagus glauca* (Hualo) Forests, After the Historical "Las Máquinas" Wildfire in South-Central Chile. *American Journal of Environmental Sciences*. DOI: 10.3844/ajessp.2019.
- Garfías, R., Castillo, M., Ruiz, F., Vita, A., Bown, H., Navarro, R. (2018). Remanentes del bosque esclerófilo en la zona mediterránea de Chile Central: caracterización y distribución de fragmentos. *Interciencia*, 43(9): 655-663.
- Gayoso, J. (2001) Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana* 1: 1-13
- Ghazoul, J., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J., & King, L. A. (2015). Conceptualizing Forest Degradation. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(10), 622-632. doi: 10.1016/j.tree.2015.08.001
- Gibson, L., Lee, T. M., Koh, L. P., Brook, B. W., Gardner, T. A., Barlow, J., ... Sodhi, N. S. (2011). Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, 478(7369), 378-381. doi: 10.1038/nature10425
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1: 182-195.
- Greze, A.A., Simonetti, J.A., & Bustamante, R.O. (2006) Biodiversidad en ambientes fragmentados de Chile: patrones y procesos a diferentes escalas. Editorial Universitaria, Santiago.
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., ... Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650. doi: 10.1073/pnas.1710465114
- Gutiérrez, A. G. (2010). Long-term dynamics and the response of temperate rainforests of Chiloé Island (Chile) to climate change (Dissertation, Technische Universität München). Retrieved from <http://mediatum.ub.tum.de/?id=981809>
- Gutiérrez, A. G., Armesto, J. J., Aravena, J.-C., Carmo-
na, M., Carrasco, N. V., Christie, D. A., ... Huth, A. (2009). Structural and environmental characterization of old-growth temperate rainforests of northern Chiloé Island, Chile: Regional and global relevance. *Forest Ecology and Management*, 258(4), 376-388. doi: 10.1016/j.foreco.2009.03.011
- Gutiérrez, A. G., Díaz-Hormazábal, I., & Chávez, R. O. (2017). *Monitoreo de la degradación de bosques nativos desde el espacio: implementación de una estrategia territorial para su recuperación* (p. 80) [Fondo de Investigación Bosque Nativo, CONAF. Proyecto 27/2015].
- Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., et al. (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2): e1500052.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., et al. (2013). High-resolution global maps of 21st-Century forest cover change. *Science*, 342: 850-853
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. and Townshend, J. R. G.: High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, *Science* (80-.), doi:10.1126/science.1244693, 2013.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. and Townshend, J. R. G.: High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, *Science* (80-.), doi:10.1126/science.1244693, 2013.
- J. R. G.: High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, *Science* (80-.), doi:10.1126/science.1244693, 2013.
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., et al. (2013) High-resolution global maps of 21st-Century forest cover change. *Science*, 342: 850-853.
- Heilmayr, R. and Lambin, E. F.: Impacts of nonstate, market-driven governance on Chilean forests, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, doi:10.1073/pnas.1600394113, 2016.
- Heilmayr, R., Echeverría, C., Fuentes, R., Lambin, E.F. (2016). A plantation-dominated forest transition in Chile. *Applied Geography* 75: 71-82.
- Heubach, K., Wittig, R., Nuppenau, E. Y Hahn, K. 2011. The economic importance of non-timber forest products (NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities: A case study from northern Benin. *Ecological Economics*, 70: 1991-2001.
- Holl, D., Pancotto, V., Heger, A., Camargo S.J., and Kutzbach K. 2019. Cushion bogs are stronger carbon dioxide net sinks than moss-dominated bogs as revealed by eddy covariance measurements on Tierra del Fuego, Argentina. *Biogeosciences* <https://doi.org/10.5194/bg-2019-156>. <http://www.doh.gob.cl/APR/documentos/Documents/Guia%20asuntos%20indigenas%202012.pdf>
- Huber, A., Iroumé, A. and Bathurst, J.: Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile, *Hydrol. Process.*, 22(1), 142-148, doi:10.1002/hyp.6582, 2008.
- Huxman, T.E., Snyder, K.A., Tissue, D., Leffer, A.J., Ogle, K., Pockman, W.T., Sanquist, D.R., Potts, D.L., Schwinning, S. (2004). Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia* 141: 254-268.
- Ibaceta, P. 2019. Efectos del uso del suelo sobre las emisiones biogénicas de gases de efecto invernadero en agroecosistemas de Chiloé. Tesis Magíster en Manejo de Suelos y Aguas. Universidad de Chile.



REFERENCIAS

- INFOR (Instituto Foresta). (2019). Base de datos Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera. Información no publicada.
- Instituto forestal (INFOR), 2016. Red Chilena de Restauración Ecológica: II Seminario de Restauración Ecológica en Chile: Oportunidades y desafíos desde la política y la práctica. <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2016/11/Cuaderno-seminario-restauracio%CC%81n-FINAL.pdf> [En línea]
- Instituto forestal (INFOR), 2017. Agenda público-privada para el desarrollo sostenible de los PFMN en Chile. Comisión Temática de Productos Forestales No Madereros PFMN, Política Forestal 2015-2035. Instituto Forestal (INFOR), Chile.
- Instituto nacional de estadísticas (INE), 2018. Estadísticas Sociales de los Pueblos Indígenas de Chile Censo 2017.
- IPCC. 2003. Report on Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types.
- IPCC. 2019. Climate change and land. Intergovernmental Panel on Climate Change, World Meteorological Organization, United Nations Environmental Program.
- Jones, J., Almeida, A., Cisneros, F., Iroumé, A., Jobbágy, E., Lara, A., Lima, W. de P., Little, C., Llerena, C., Silveira, L. and Villegas, J. C.: Forests and water in South America, *Hydrol. Process.*, 31(5), 972-980, doi:10.1002/hyp.11035, 2017.
- Jones, J., Almeida, A., Cisneros, F., Iroumé, A., Jobbágy, E., Lara, A., Lima, W. de P., Little, C., Llerena, C., Silveira, L. and Villegas, J. C.: Forests and water in South America, *Hydrol. Process.*, 31(5), 972-980, doi:10.1002/hyp.11035, 2017.
- Joosten, H., Clarke, D., 2002. Wise Use of Mires and Peatlands: Background and Principles including a Framework for Decision-Making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijärvi, Finland.
- Jorquera-Jaramillo, C., Yáñez-Acevedo, M., Gutiérrez, J.R., Cortés-Bugueño, J.L., Pastén-Marambio, V., Barraza-Cepeda, C. (2015). Restoration of degraded drylands in northern Chile: The need of local stakeholders' participation to prevent and combat desertification. *Geophysical Research Abstracts* 17: EGU2015-14751-1.
- Keith DA, Rodríguez JP, Brooks TM, et al (2015) The IUCN red list of ecosystems: Motivations, challenges, and applications. *Conserv Lett* 8:214-226. doi: 10.1111/conl.12167
- Keith DA, Rodríguez JP, Rodríguez-Clark KM, et al (2013) Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *PLoS One* 8:e62111. doi: 10.1371/journal.pone.0062111
- Kumar, B.M. & Nair, P.R. (eds.). (2011) Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges. Springer, New York.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, C., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino, M. and Arismendi, I.: Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile, *For. Ecol. Manage.*, 258(4), 415-424, doi:10.1016/j.foreco.2009.01.004, 2009.
- Lara, A., Solari, M. E., Prieto, M. del R., & Peña, M. P. (2012). Reconstruction of vegetation cover and land use ca. 1550 and their change towards 2007 in the Valdivian Rainforest Ecoregion of Chile (35°-43°30' S). *Bosque*, 33(1), 13-23. doi: 10.4067/S0717-92002012000100002
- Lara, A., Urrutia-Jalabert, R., Reyes, R., González, M.E. Miranda, M., Altamirano, A. Zamorano-Elgueta, C. 2019 (en prensa). Bosques Nativos. En: Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile. Instituto de Asuntos Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Lara, A., Zamorano C., Miranda A., González M., Reyes, R. (2016). Bosques Nativos. En: Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile. Comparación 1999-2015. Instituto de Asuntos Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile, pp 126-171.
- Lawson, I.T., Kelly, T.J., Aplin, P., Boom, A., Dargie, G., Draper, F.C.H., Hassan, P.N.Z.B.P., Hoyos-Santillan, J., Kaduk, J., Large, D., Murphy, W., Page, S.E., Roucoux, K.H., Sjögersten, S., Tansey, K., Waldram, M., Wedeux, B.M.M., Wheeler, J., 2015. Improving estimates of tropical peatland area, carbon storage, and greenhouse gas fluxes. *Wetl. Ecol. Manag.* 23, 327-346. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9402-2>
- Leifeld, J., Menichetti, L., 2018. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nat. Commun.* 9, 1071. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03406-6>
- Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Mitchard, E. T. A. & Koch, A. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature* 568, 25-28 (2019).
- Lindenmayer, D. B. et al. Avoiding bio-perversity from carbon sequestration solutions. 5, 28- 36 (2012).
- Lindenmayer, D.B. & Fischer, J. (2006) Habitat fragmentation and landscape change. An ecological and conservation synthesis. Island Press, Washington D.C.
- Little, C., Lara, A., McPhee, J. and Urrutia, R.: Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile, *J. Hydrol.*, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.011, 2009.
- Loayza, A.P., Herrera-Madariaga, M.A., Carvajal, D.E., García-Guzmán, P., Squeo, F.A. (2017). Conspecific plants are better 'nurses' than rocks: consistent results revealing intraspecific facilitation as a process that promotes establishment in a hyper-arid environment. *AoB Plants* 9: plx056. doi.org/10.1093/aobpla/plx056
- Loisel, J., 2015. Turberas como sumideros de carbono, in: Domínguez, E., Vega-Valdés, D. (Eds.), Funciones y Servicios Ecosistémicos de Las Turberas En Magallanes-Colección de Libros INIA N° 33. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Punta Arenas, Chile, p. 334.



REFERENCIAS

- Loisel, J., and Yu, Z. 2013. Holocene peatland carbon dynamics in Patagonia. *Quaternary Science Reviews* 69: 125-141.
- Luyssaert, S., Schulze, E. D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B. E., Ciais, P. and Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213.
- Mackey, B., DellaSala, D. A., Kormos, C., Lindenmayer, D., Kumpel, N., Zimmerman, B., ... Watson, J. E. M. (2015). Policy Options for the World's Primary Forests in Multilateral Environmental Agreements. *Conservation Letters*, 8(2), 139-147. doi: 10.1111/conl.12120
- Mackey, B., Prentice, I. C., Steffen, W., House, J. I., Lindenmayer, D., Keith, H., & Berry, S. (2013). Untangling the confusion around land carbon science and climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 3(6), 552-557. doi: 10.1038/nclimate1804
- McWethy, D.B., Pauchard, A., García, R.A., Holz, A., Veblen, T.T., Stahl, J. & Currey, B. (2018). Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *PLoS ONE* 13: e0201195.
- Meza, F. J., Montes, C., Bravo-Martínez, F., Serrano-Ortiz, P. and Kowalski, A. S. 2018. Soil water content effects on net ecosystem CO₂ exchange and actual evapotranspiration in a Mediterranean semiarid savanna of Central Chile. *Scientific Reports* 8: 8570. doi:10.1038/s41598-018-26934-z
- Millenium Assessment: Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis., 2005.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sustentable (MAYDS), 2015. "Productos forestales no madereros, Presidencia de la Nación", Argentina. <http://ambiente.gob.ar/especies/productos-forestales-no-madereros/> [En línea]
- Ministerio de vivienda y urbanismo (2014). Política Nacional de Desarrollo Urbano. Hacia una nueva política urbana para Chile. Santiago, Chile. Disponible en <https://cndu.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/L4-Politica-Nacional-Urbana.pdf> (revisado julio 2018)
- Ministerio de vivienda y urbanismo, MINVU. (2009). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, OGUC, Título 4: De la Arquitectura. Capítulo 3: De las Condiciones de Seguridad Contra Incendio. Santiago de Chile: MINVU.
- Ministerio de vivienda y urbanismo, MINVU. (2014). Listado oficial de comportamiento al fuego de elementos y componentes de la construcción. Santiago de Chile: MINVU. Disponible en: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo\x3d20070606164405\x26hdd_nom_archivo\x3dLista-do%20Ocial%20de%20Comportamiento%20al%20Fuego%20E14-1_2014.pdf (revisado el 17 Julio de 2018)
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A. & González, M. (2017) Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence. *Regional Environmental Change*, 17: 285-297. doi: 10.1007/s10113-016-1010-7
- Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Pincheira, F. and Lara, A.: Different times, same story: Native forest loss and landscape homogenization in three physiographical areas of south-central of Chile, *Appl. Geogr.*, 60, 20-28, doi:10.1016/j.ap-geog.2015.02.016, 2015.
- Miranda, A., Lara, A., Altamirano, A., Di Bella, C., González, M., Camarero, J.J. Forest browning trends in response to drought in a highly threatened Mediterranean landscape of South America. *Enviado a Ecological Indicators* (2019).
- Miranda, A., Lara, A., Altamirano, A., Zamorano-Elgueta, C., Hernández, J., González, M., Pauchard, A., Promis, A. (2018). Monitoreo de la superficie de los bosques nativos de Chile: un desafío pendiente. *Bosque* 39(2): 265-275.
- MMA (2019). No publicado: Cifras sobre proyecciones para balance de carbono nacional en inventario GEL. *En reunión sub - mesa CUS, Comité Científico COP25*.
- MMA. (2018). Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, serie 1990-2016. Santiago, Chile. 762 pp
- Molina, R. 2012. Guía de Antecedentes Territoriales y Culturales de los Pueblos Indígenas de Chile. Dirección General de Obras Públicas, Santiago. Disponible en:
- Moncada M (2019) aplicación de los criterios de la UICN para la creación de una Lista Roja de Ecosistemas terrestres de Chile y análisis de la representatividad de las áreas protegidas. Memoria para optar al título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.
- Nahuelhual, L., Carmona, A., Lara, A., Echeverría, C. & González, M. E. Land-cover change to forest plantations: Proximate causes and implications for the landscape in south-central Chile. *Landscape Urban Plan.* (2012). doi:10.1016/j.landurbplan.2012.04.006
- National Fire Protection Association NFPA 101 (2000). Código de Seguridad Humana. Quincy, Massachusetts: IHS. 519 p.
- National Fire Protection Association NFPA 1141. (2017). Standard for Fire Protection Infrastructure for Land Development in Wildland, Rural, and Suburban Areas. Quincy, Massachusetts: IHS. 9 p.
- National Fire Protection Association NFPA 1144. (2018). Standard for Reducing Structure Ignition Hazards from Wildland Fire. Quincy, Massachusetts: IHS. 38 p.
- National Fire Protection Association NFPA 5000®. (2018) Building Construction and Safety Code® 2018 Edition. Quincy, Massachusetts: IHS. 721 p.
- National Fire Protection Association NFPA 703. (2000). Standard for Fire Retardant Impregnated Wood and Fire-Retardant Coatings for Building Materials. Quincy, Massachusetts: IHS. 9 p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/news/7074.html>.
- Neuenschwander, A. (2010) El cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile. Fundación para la Innovación Agraria, Santiago.



REFERENCIAS

- derechos de los pueblos indígenas, Adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 13 de septiembre de 2007, A/RES/61/295
- Page, S.E., Rieley, J.O., Banks, C.J., 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Glob. Chang. Biol.* 17, 798–818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x>
- Perez-Quezada J.F., Celis-Diez J.L., Brito C.E., Gaxiola A., Nunez-Avila M., Pugnaire F.I., Armesto J.J. 2018. Carbon fluxes from a temperate rainforest site in southern South America reveal a very sensitive sink. *Ecosphere* 9(4):e02193
- Perez-Quezada, J.F. 2017. Informe final proyecto: Balance de gases de efecto invernadero en un bosque maduro y una turbera antropogénica en Nordpatagonia. FONDECYT 1130935.
- Perez-Quezada, J.F., Delpiano, C.A., Franck, N., Snyder, K.A. and Johnson, D.A. 2011. Carbon pools in an arid shrubland in Chile under natural and afforested conditions. *Journal of Arid Environments* 75: 29–37.
- Perez-Quezada, J.F., Olguín, S., Fuentes, J.P., Galleguillos, M. 2015. Tree carbon stock in evergreen forests of Chiloé, Chile. *Bosque* 36: 27–39.
- Pisano, E., 1977. Fitogeografía de Fuego - Patagonia chilena. I.- Comunidades vegetales entre las latitudes 52 y 56° S. *An. del Inst. la Patagon.* 8, 121–250.
- PLADECO, (2010). Plan de desarrollo comunal San José de Maipo año 2010– 2014. [En línea] <http://www.sanjosedemaipo.cl/documents/4/TOMO_I_PLADECO_San_Jose_1.pdf> [Consulta: 29 diciembre 2016]
- Plissock P (2015) Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile. Informe Técnico elaborado por Patricio Plissock para el Ministerio del Medio Ambiente. 63 p. Santiago, Chile.
- Potapov, P., Hansen, M. C., Laestadius, L., Turubanova, S., Yaroshenko, A., Thies, C., ... Esipova, E. (2017). The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. *Science Advances*, 3(1), e1600821. doi: 10.1126/sciadv.1600821
- Poulter, B., Frank, D., Ciais, P., Myneni, R.B., Andela, N., Bi, J., Broquet, G., Canadell, J.G., Chevallier, F., Liu, Y.Y., Running, S.W., Sitch, S., van der Werf, G. (2014). Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. *Nature* 509: 600–604.
- QUILAQUEO, R. Y TORRES, H. 2013. Multiculturalidad e interculturalidad: Desafíos epistemológicos de la escolarización desarrollada en contextos indígenas, Osorno, Chile.://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So718-22012013000200020 [En línea]
- Quintanilla, V. (1999). Modificaciones por efecto del fuego en el bosque esclerófilo de quebradas húmedas de Chile Central y su incidencia en la Palma chilena. *Terra Australis* 44: 7–18.
- República de Chile. 2019. Sobre protección ambiental de las turberas. Boletín 12017-12, Senado de la República de Chile, Valparaíso, Chile. http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=12017-12
- Ruiz, J., Doberti, M., 2005. Catastro y caracterización de los turbales de Magallanes. Punta Arenas, Chile.
- SAIZ, J., MERINO, M. Y QUILAQUEO, D. 2009. Meta estereotipos sobre los indígenas mapuche de Chile". *Interdisciplinaria*, 26: 1. 2009:23–48
- SASAKI, N. y PUTZ, F. 2009. Critical need for new definitions of “forest” and “forest degradation” in global climate change agreements. *Conserv Lett.*
- Scott, D. F.: On the hydrology of industrial timber plantations, *Hydrol. Process.*, 19(20), 4203–4206, doi:10.1002/hyp.6104, 2005.
- Seddon, N., Turner, B., Berry, P., Chausson, A., & Girardin, C. A. J. (2019). Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change*, 9(2), 84–87. doi: 10.1038/s41558-019-0405-0
- Servicio Nacional del Geología y Minería, 2017. Anuario de la Minería de Chile. Santiago, Chile.
- SHACKLETON, C. 2014. The importance of non-timber forest products in rural livelihood security and as safety nets: a review of evidence from South Africa.
- Silva, J.C. 1997. Crecimiento y Acumulación de Biomasa en Renovales de Coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb.) Oerst) en el Sector de Río San Juan, XII Región.
- Simonetti, J. A., Grez, A.A. & Estados, C.F. (2012) Biodiversity conservation in agroforestry landscapes: challenges and opportunities. Editorial Universitaria, Santiago.
- Simonetti, J. A., Grez, A.A. & Estados, C.F. (2013) Providing habitat for native mammals through understory enhancement in forestry plantations. *Conservation Biology*, 27: 1117–1121.
- Sjögersten, S., Black, C.R., Evers, S., Hoyos-Santillan, J., Wright, E.L., Turner, B.L., 2014. Tropical wetlands: A missing link in the global carbon cycle? *Global Biogeochem. Cycles* 28, 1371–1386. <https://doi.org/10.1002/2014GB004844>
- Smith, P. et al. Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. *Nat. Clim. Chang.* 6, 42–50 (2016).
- Squeo, F.A., Arancio, G., Gutiérrez, J.R. (2001). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena. 451 pp.
- Urrutia-Jalabert, R., Malhi, Y. and Lara, A. (2015). The oldest, slowest rainforests in the world? Massive biomass and slow carbon dynamics of *Fitzroya cupressoides* temperate forests in southern Chile. *PLOS ONE*, 10(9), e0137569. doi: 10.1371/journal.pone.0137569
- Valdés-Barrera A, Kutzbach L., Celis-Diez J.L., Armesto J.J., Holl D., Perez-Quezada J.F. 2019. Effects of disturbance on the carbon dioxide balance of an anthropogenic peatland in northern Patagonia. *Wetlands Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09682-3>



REFERENCIAS

- Wang, N., Quesada, B., Xia, L., Butterbach-Bahl, K., Goodale, C.L., Kiese, R. (2019). Effects of climate warming on carbon fluxes in grasslands-A global meta-analysis. *Global Change Biology* 25: 1839-1851.
- Watson, J. E. M., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C. ... Lindenmayer, D. (2018). The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 2(4), 599-610. doi: 10.1038/s41559-018-0490-x
- WRI. 2001. World resources of the world 2000-2001. People and Ecosystems. The fraying web of life. UNDP, UNEP, World Bank, World Resources Institute, Washington D.C.
- Zhao, H., Jia, G., Wang, H., Zhang, A., Xu, X. (2019). Seasonal and interannual variations in carbon fluxes in East Asia semi-arid grasslands. *Science of Total Environment* 668: 1128-1138.
- Zhao, Y.; Feng, D., Yua, L., Wang, X., Chen, Y., Hernández, H.J., Galleguillos, M., Estados, C., Biging, G., Radke, J., Gong, P. (2016). Detailed dynamic land cover mapping of Chile: accuracy improvement by integrating multi-seasonal land cover data. *Remote Sensing of Environment* 183, 170-185.