



MÁS ALLÁ DE LA DEFORESTACIÓN:

Restauración ecológica de
bosques nativos en el Parque
Nacional Nonguén, Chile

Cristian Echeverría L., Paula Gatica S., Sergio Román S.,
Alberto Bordeu S., Cristian Espinoza F.

MAS ALLÁ DE LA DEFORESTACIÓN:

Restauración ecológica de
bosques nativos en el Parque
Nacional Nonguén, Chile

Cristian Echeverría L., Paula Gatica S., Sergio Román S.,
Alberto Bordeu S., Cristian Espinoza F.

“Más allá de la deforestación: restauración ecológica de bosques nativos en el Parque Nacional Nonguén, Chile”

Autores: Cristian Echeverría L., Paula Gatica S., Sergio Román S., Alberto Bordeu S., Cristian Espinoza F.

La cita bibliográfica correcta de este documento es:

Echeverría, C., Gatica, P., Román, S., Bordeu, A. y C. Espinoza. 2021.

Más allá de la deforestación: restauración ecológica de bosques nativos en el Parque Nacional Nonguén, Chile. Primera Edición. Universidad de Concepción. 123 p.

Diseño y diagramación: Paloma Garling G.

Edición de textos: Monserrat Quezada L.

Fotografías interior y portada: Cristián Echeverría L.

Ilustraciones: Vicente Marambio A.

Coordinación general: Marcela Díaz O.

Impresión: Láser Impresores

Impreso en Chile / Printed in Chile

Primera edición: julio de 2021

ISBN 978-956-404-358-6

Para obtener un ejemplar de esta obra, favor contactar a:

Laboratorio de Ecología de Paisaje

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción

E-mail: lep@udec.cl

Este libro es un Proyecto al Medio Externo del Núcleo Milenio Centro para el Impacto Socioeconómico de las Políticas Ambientales (CESIEP) y es posible gracias al financiamiento del programa Iniciativa Científica Milenio.

CONTENIDO

Presentación	5
Agradecimientos	8
Parte I	10
Capítulo 1. ¿Qué es la diversidad biológica?	
Capítulo 2. ¿Qué es la restauración ecológica?	
Capítulo 3. Principios y estándares internacionales de restauración ecológica	
Capítulo 4. Etapas de un plan de restauración ecológica de bosques nativos degradados	
Parte II	68
Capítulo 5. Historia, disturbios y biodiversidad en el Parque Nacional Nongún	
Capítulo 6. Origen de los trabajos de Restauración Ecológica en el Parque Nacional Nongún: Una oportunidad transformada en realidad	
Capítulo 7. Ecosistema de referencia	
Capítulo 8. Características del ecosistema degradado	
Capítulo 9. Las primeras experiencias de restauración ecológica durante 2011-2012	
Capítulo 10. Ampliando las áreas de restauración	
Capítulo 11. Evaluando el éxito de la restauración	
Parte III	118
Hacia una nueva trayectoria en la década de la restauración	
Referencias	128



PRESENTACIÓN

Cuando un remanente de bosque nativo inserto en un paisaje altamente transformado es destruido por acción humana, es muy probable que las especies originales sean reemplazadas total o parcialmente por especies exóticas invasoras, de rápido crecimiento, que no estaban presentes antes del disturbio. Este es el caso de parte del bosque nativo del Parque Nacional Nonguén, el cual antes de llegar a estar protegido por el Estado fue destruido por sobreexplotación e incendios forestales y reemplazado por una agresiva invasión de especies arbóreas y arbustivas exóticas que han conducido a una simplificación de la vegetación.

En otra gran proporción del Parque, persisten especies de flora y fauna nativa, manteniendo altos niveles de complejidad e integridad ecológica y prestando múltiples servicios ecosistémicos. Sin embargo, estas áreas de alto valor ecológico están bajo constante amenaza, ya sea por la corta ilegal de árboles nativos para su venta como leña -a pequeña escala, pero persistente en el tiempo-, como por la invasión de especies exóticas que han logrado establecerse dentro del Parque y formar áreas continuas que progresivamente dividen y restan espacio a las especies nativas.

El Parque Nacional Nonguén es un área protegida relativamente joven creada en el 2009, pero con un altísimo valor ecológico. Contiene uno de los últimos remanentes de bosque nativo y el de mayor tamaño de toda la Provincia de Concepción y provee una diversidad de hábitats para especies nativas con distintos requerimientos, incluyendo especies en distintas categorías de amenaza para su conservación. Además, sus ecosistemas nativos contribuyen al bienestar humano mediante la provisión de agua superficial para el consumo, recrea-

ción, belleza escénica, control de erosión y escorrentía superficial entre otros. Todas estas razones justifican la necesidad de recuperar la vegetación nativa y detener su reemplazo por especies exóticas.

Se ha invitado en calidad de coautores de este libro a dos profesionales externos a la Universidad de Concepción que han estado vinculados desde un comienzo con las experiencias de restauración ecológica en el Parque Nacional Nonguén. Uno de ellos es Alberto Bordeu Schwarze, ingeniero forestal y jefe del Departamento de Áreas Silvestres Protegidas de CONAF Biobío, quien, desde su invitación inicial a mirar a esta área silvestre protegida como una oportunidad para la práctica de la restauración ecológica, ha facilitado, promovido y se ha involucrado a nivel personal en las acciones desarrolladas. Adicionalmente, Cristian Espinoza Fuentes, jefe de proyectos de Medio Ambiente de la empresa TRANSELEC S.A. ha sido la contraparte técnica del compromiso ambiental adicional asumido por la empresa en uno de sus proyectos (“Línea de Transmisión Eléctrica 2 x 220 kV Charrúa-Lagunillas y obras asociadas”), que ha sido la restauración ecológica cuyos resultados surgen en este libro. Ambos mostraron un creciente interés y convencimiento del rol que tiene la restauración ecológica, lo que se ha reflejado en asegurar respectivamente la continuidad de áreas para recuperación y el financiamiento de las instituciones que ellos representan.

Este libro apunta a dos grandes propósitos; primero, presentar conceptos y enfoques relacionados con los principios y estándares internacionales de restauración ecológica. Se dan a conocer los atributos e indicadores que se deben recuperar en un ecosistema destruido y luego invadido por especies exóticas. Presentamos algunos enfoques conceptuales que pueden ser útiles para diseñar y evaluar un proyecto de restauración ecológica.

En segundo lugar, buscamos documentar nuestra experiencia y enfoques utilizados en 10 años de investigación aplicada, desde el 2011 al 2021,

para la restauración ecológica de bosques nativos en zonas invadidas por especies exóticas en un área protegida del Estado. Aquí presentamos una secuencia de aprendizajes logrados que han permitido mejorar las técnicas de restauración ecológica y que pueden ser útiles para quienes practican la disciplina.

Hoy, más que nunca, la sociedad debe acelerar la puesta en práctica de todas aquellas acciones que permitan conservar, usar y restaurar la biodiversidad de una manera justa y sustentable. Además, es urgente escalar y potenciar los esfuerzos de colaboración entre las y los actores que buscan recuperar los beneficios de la naturaleza. Si la pérdida de biodiversidad y ecosistemas nativos continúa, se incrementará el daño sobre la salud humana, sociedad y economías, especialmente de las comunidades locales e indígenas.

Sin duda, sabemos lo que se tiene que hacer, y cómo lo podemos hacer para lograr resultados positivos. Es aquí donde la restauración ecológica viene a cumplir un rol clave para recuperar los múltiples beneficios que la naturaleza brinda al ser humano y a asegurar un mejor futuro para la humanidad.

El fin último de este libro es dar a conocer a un amplio rango de lectores el rol que tiene la restauración ecológica como una disciplina práctica con el fin de atender los crecientes desafíos sociales y ecológicos que nuestra sociedad enfrenta. Durante las últimas dos décadas, Cristian Echeverría ha investigado y reportado los procesos de pérdida y fragmentación de bosques nativos de Chile y Latinoamérica. En este libro, no se busca documentar la deforestación o destrucción de estos ecosistemas, sino ir más allá y promover la restauración ecológica de ecosistemas únicos de nuestra región y país.

AGRADECIMIENTOS

Este libro es un Proyecto al Medio Externo del Núcleo Milenio Centro para el Impacto Socioeconómico de las Políticas Ambientales (CESIEP) y es posible gracias al financiamiento de la Iniciativa Científica Milenio. Asimismo, Cristian Echeverría, Paula Gatica y Sergio Román agradecen el apoyo financiero y humano brindando a todas las instituciones y personas que aportaron de diferentes formas a la restauración ecológica de los bosques nativos en el Parque Nacional Nonguén.

Igualmente, se agradece a la Dra. Cara Nelson de la Universidad de Montana y del Grupo Temático de Restauración de Ecosistemas de la UICN, por su apoyo científico en el diseño experimental y análisis de patrón espacial de bosques de referencia.

Se agradece la confianza y aporte financiero de TRANSELEC S.A. reflejado en los acuerdos de colaboración del 2010, 2017 y 2020, celebrados con la Universidad de Concepción para la implementación de la restauración ecológica y el apoyo en logística y gestión brindados por las direcciones y funcionarios de CONAF Región del Biobío y CONAF Provincia de Concepción.

De manera especial, los autores reconocen a cada uno de los y las estudiantes de Ingeniería Forestal, Ingeniería en Biotecnología Vegetal, Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales y de los programas de postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción que participaron de manera voluntaria en los inicios de la restauración ecológica en el Parque en el 2011 y 2012.

De igual manera, reconocemos especialmente al apoyo constante de los diferentes guardaparques y administradores del Parque Nacional que han sido partícipes y facilitadores de las acciones de restauración ecológica desde el 2010 a la fecha.





PARTE I

CAPÍTULO 1

¿Qué es la diversidad biológica?

Antes de explicar en qué consiste la restauración ecológica, se necesita tener claro el concepto de biodiversidad o diversidad biológica. De acuerdo con el Convenio de Diversidad Biológica, biodiversidad o diversidad biológica es la variabilidad de organismos vivos, incluyendo la diversidad dentro y entre especies, ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos.

La biodiversidad puede caracterizarse en niveles jerárquicos de organización: genes, individuo, especie o población, comunidad, ecosistema y paisaje (Figura 1). Cada nivel de la biodiversidad posee atributos que los caracterizan, los cuales son la composición, estructura y función.

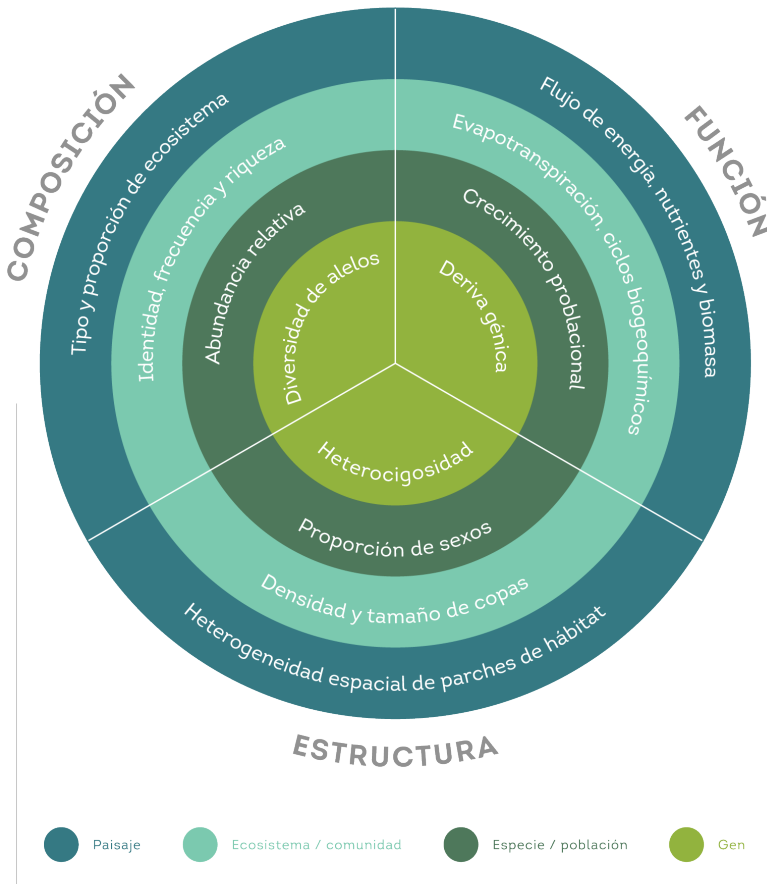
La composición de la biodiversidad describe los componentes físicos de cada uno de estos niveles. Por ejemplo, el número de especies describe la composición de un ecosistema. La estructura comprende el arreglo físico o configuración espacial de los componentes de cada nivel. La distribución agregada de los individuos de una planta describe la estructura a nivel poblacional. Finalmente, la función corresponde a las interacciones o procesos que ocurren entre los componentes del sistema biológico. Estos procesos pueden ser biogeoquímicos, como la fijación de nitrógeno, o interespecífico, como la depredación. Cuando uno de los componentes del sistema biológico se pierde, se afectan las relaciones funcionales con los demás componentes y se altera la diversidad estructural del nivel jerárquico.

ECOSISTEMA

Un ecosistema es un sistema ecológico compuesto de organismos vivos, tales como plantas, animales y microbios (biótico), que interactúan entre ellos y con su ambiente físico como el clima, suelo y agua (abiótico). En un ecosistema sus componentes están espacialmente estructurados y tienen interacciones que conducen, por ejemplo, a la captura y almacenamiento de carbono como biomasa, ciclaje de nutrientes y cambios en el tiempo (sucesión ecológica).

FIGURA 1

Atributos e indicadores ecológicos a nivel de paisaje, ecosistema o comunidad, población o especie y gen.



¿Por qué debemos restaurar?

El ser humano ha alterado cerca del 70% de la superficie terrestre, quedando sólo un 68% de los bosques que había en la época preindustrial¹. Recientemente, se ha revelado que las Metas Aichi, propuestas el 2010 para reducir la pérdida de biodiversidad a nivel planetario, han fracasado². En el último decenio, no se logró reducir el ritmo de pérdida de hábitats naturales, ni disminuir la degradación y fragmentación de bosques. A nivel mundial, los principales impulsores directos que han causado y siguen causando esta pérdida son el cambio de uso del suelo, la sobreexplotación de los organismos, cambio climático, contaminación y especies exóticas invasoras³.

En Chile, el principal factor de pérdida y degradación y fragmentación de ecosistemas nativos es el cambio de uso del suelo asociado al desarrollo de los sectores forestal, agrícola, minero y acuícola. En particular, el centro-sur ha experimentado tasas alarmantes de pérdida de bosques nativos desde la colonización española. Algunas regiones y comunas de esta zona han exhibido tasas de deforestación superiores al promedio nacional, y han mostrado destrucción de hábitat para diversas especies de flora y fauna endémica de Chile y de distribución restringida. En 1986, los bosques nativos de la Cordillera de la Costa representaban el principal tipo de cobertura del paisaje costero entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos. Luego de 25 años, estos ecosistemas sólo cubrían el 15% del paisaje, mientras que las plantaciones forestales de especies exóticas llegaron a constituir la cobertura dominante de la costa, a un porcentaje similar al que tenían los bosques nativos en 1986, es decir, 30%. A una escala subregional, la Costa de la Región del Maule, exhibió la deforestación más alta del país, donde hoy existe un 67% menos de bosques nativos que lo que había en 1975.

A consecuencia de esta continua y creciente degradación de los ecosistemas, a nivel internacional han surgido diversos compromisos que apuntan a la restauración de tierras. La Meta Aichi N° 15 buscaba que los países signatarios restauraran el 15% de la superficie degradada al 2020. Adicionalmente, el Desafío de Bonn tiene como objetivo la restauración de 150 millones de

hectáreas de paisajes deforestados y degradados para el 2020, y 350 millones al 2030 en el planeta. A nivel latinoamericano, la Iniciativa 20x20 buscaba la restauración de 20 millones de hectáreas al 2020. A nivel nacional, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Medio Ambiente trabajan juntos para definir el Plan Nacional de Restauración a Escala de Paisaje. Además, el país cuenta con una Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 en la cual se incluyen acciones de restauración. Similarmente, la Política Forestal 2015-2035 y los Planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies (RECOGE) reconocen la necesidad de implementar la recuperación de ecosistemas boscosos y especies amenazadas.

COMPROMISOS GLOBALES PARA LA RESTAURACIÓN

Iniciativa 2020:

<https://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20>

Quinto Informe de Perspectiva Mundial sobre la Biodiversidad

<https://www.cbd.int/gbo5>

Metas Aichi 2020

<https://www.cbd.int/sp/targets/>

Desafío de Bonn

<https://www.bonnchallenge.org>

Decenio de la restauración de las Naciones Unidas

<http://www.fao.org/news/story/es/item/1183553/icode/>

CAPÍTULO 2

¿Qué es la restauración ecológica?

La restauración ecológica de ecosistemas es una disciplina que busca recuperar los atributos de la biodiversidad que se han perdido por acción humana. Los Principios y Estándares (Estándares de aquí en adelante) de la Sociedad de Restauración Ecológica (SER en inglés)⁴ define restauración ecológica como el proceso deliberado de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. La restauración ecológica es necesaria cuando un ecosistema presenta ciertos niveles de deterioro que le imposibilitan de volver al estado que tenía antes de la alteración o a su trayectoria histórica de desarrollo. Este proceso es intencional y busca llevar a un ecosistema a una trayectoria ecológica de recuperación que permita la adaptación a cambios locales y globales, la persistencia y la evolución de las especies que lo componen.

PRINCIPIOS Y ESTÁNDARES DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LA SOCIEDAD DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA⁴

Los Estándares proveen de una guía para todas aquellas personas que desean practicar la restauración de ecosistemas degradados alrededor del mundo. Los Estándares contienen ocho principios que relevan el rol de la restauración ecológica en recuperar la integridad de los ecosistemas y en conectar las dimensiones sociales y económicas con la ecológica, con una mirada hacia la sustentabilidad. La segunda edición fue publicada en noviembre del 2019 por un grupo internacional de científicos y practicantes de la restauración ecológica.

<https://www.ser.org/page/SERStandards>

La unidad básica de la restauración ecológica es un ecosistema, el cual debe ser entendido como un sistema abierto, que está en constante cambio e interactúa con otros en el tiempo y espacio. La alteración (positiva o negativa) de un ecosistema puede repercutir más allá de sus límites, ya que sus com-

ponentes tales como semillas, sedimentos, polen, pueden fluir entre ecosistemas. La trayectoria es la ruta o curso de desarrollo natural de la condición (ej. estructura) de un ecosistema a través del tiempo. También puede incluir la adaptación de un ecosistema a condiciones ambientales cambiantes locales o globales, así como también la persistencia y evolución de sus especies.

Un ecosistema puede seguir múltiples potenciales trayectorias, las que están definidas por puntos o umbrales en los cuales cambios en las condiciones ambientales o biofísicos pueden conducir a un ecosistema a un estado ecológico diferente. Cuando un ecosistema ha cruzado varios umbrales ecológicos, es posible que no pueda fácilmente regresar a su estado previo o a la trayectoria que tenía antes de la alteración antrópica.

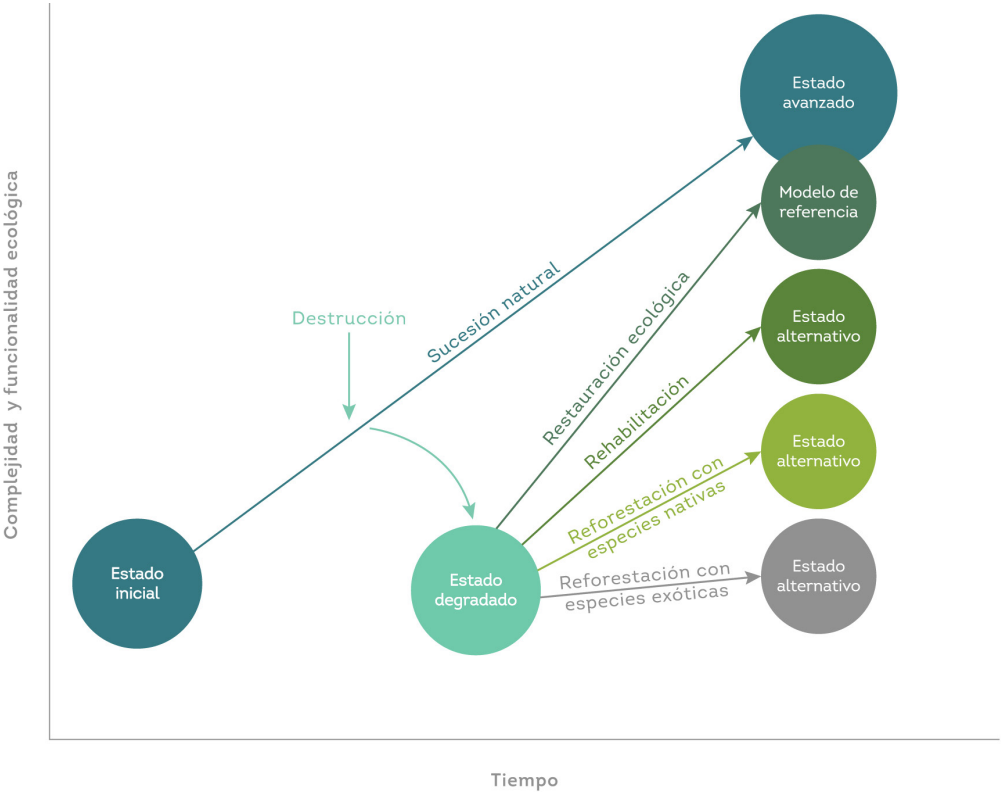
Mediante la restauración ecológica se busca poner al ecosistema degradado en la trayectoria anterior a la intervención humana, de tal manera de redirigir al ecosistema hacia la recuperación de la integridad ecológica y resiliencia. O bien, dicho de otra forma, la restauración ecológica busca llevar un ecosistema degradado a una trayectoria de recuperación. Esta trayectoria puede ser proyectada al futuro siempre y cuando se tenga certeza de que las condiciones ambientales locales no cambien sustancialmente o bien el paisaje se mantenga constante. Si un ecosistema es degradado en un contexto de inestabilidad ambiental o de cambios en los procesos y patrones espaciales a nivel de paisaje, es muy probable que el ecosistema restaurado experimente cambios a lo largo de su trayectoria.

Cuando se restaura un ecosistema degradado, se busca llevar dicho ecosistema a un estado sucesional objetivo, que viene determinado por una referencia ecológica. Dado que la naturaleza no es estática, se debe considerar la referencia como un sistema dinámico que cambia a través del tiempo. Por tal razón, al momento de restaurar un ecosistema degradado se debe considerar las trayectorias ecológicas que llevaron a configurar el ecosistema de referencia. Si el área a restaurar está completamente destruida es necesario imitar, lo más estrictamente que se pueda, las trayectorias ecológicas que llevaron a formar el ecosistema de referencia desde los primeros estados de la sucesión

ecológica. De esta manera, el ecosistema bajo restauración representará uno de los estados naturales del ecosistema de referencia. Es importante tener en cuenta que las condiciones bióticas y abióticas o el régimen de disturbios naturales pueden cambiar la trayectoria que se ha elegido para recuperar el ecosistema degradado. Acciones de restauración como la plantación de especies de plantas pioneras pueden conducir el ecosistema degradado a la trayectoria deseada. Sin embargo, sólo este tipo de acción no asegura que se logren los atributos deseados (Figura 2).

FIGURA 2

Representación teórica de la sucesión natural, restauración ecológica y otras aproximaciones de recuperación de ecosistemas boscosos.



¿Qué atributos de un ecosistema degradado se busca recuperar?

Un proyecto de restauración debería apuntar a la recuperación de un listado de atributos ecológicos de un ecosistema. Un primer grupo corresponde a aquellos atributos que pueden recuperarse de manera directa producto de la ejecución de las intervenciones en el área del proyecto (por ejemplo, control de invasoras, plantación, etc.). Estas intervenciones buscan recuperar las condiciones físicas apropiadas para sostener una composición y estructura comunitaria determinada, y facilitar el restablecimiento de procesos ecológicos y el flujo e intercambio de organismos y materiales a nivel de paisaje (Figura 3). El profesional de la restauración primero asegura que las especies adecuadas al lugar existan y que las condiciones físicas sean restablecidas para que dichas especies puedan crecer y desarrollarse (mayores detalles sobre la recuperación de atributos ecosistémicos se describen en Capítulo 3).

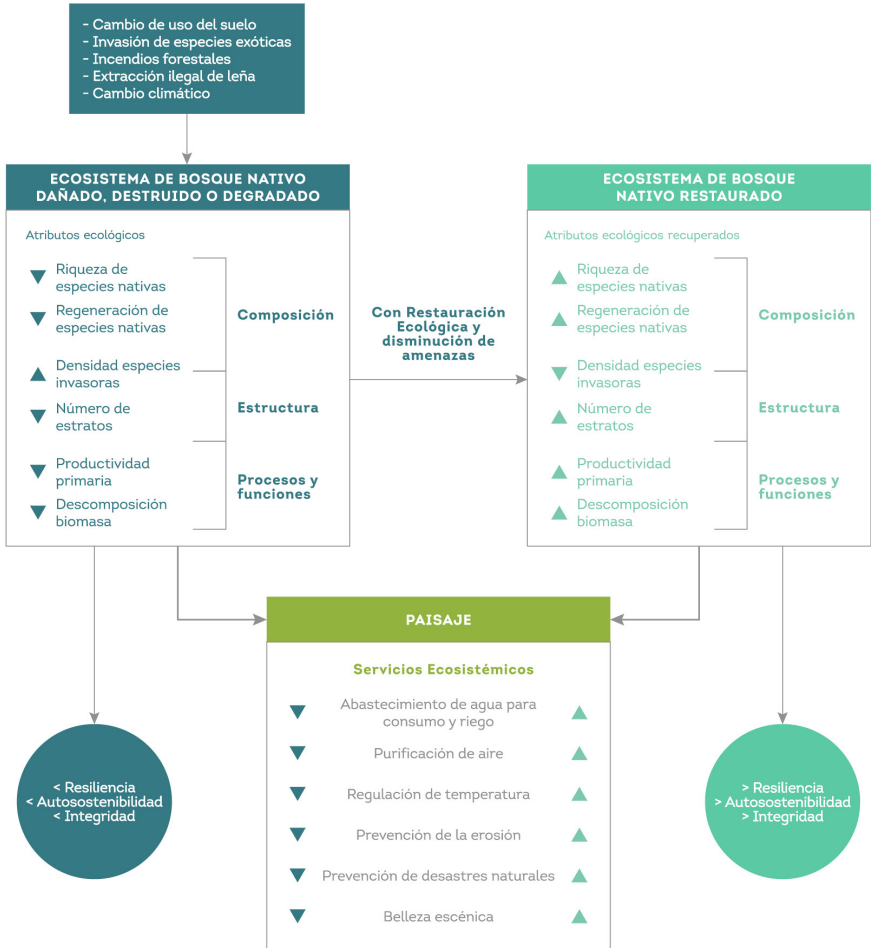
Cuando ocurre una recuperación exitosa de estos atributos, surge la recuperación indirecta de otro grupo de atributos que son la complejidad, autoorganización, resiliencia y sustentabilidad ecológica (Figura 3). La recuperación de la funcionalidad ecosistémica puede contribuir a restablecer propiedades emergentes, es decir, la complejidad ecológica. Un proyecto de restauración debería considerar desarrollar estructuras complejas basado en una diversificación de hábitat y diferenciación de nicho. Por ejemplo, mantener troncos muertos en pie o caídos podría diversificar hábitats del ecosistema bajo restauración, y así permitir que coleópteros ocupen ese nicho que no estaba disponible previamente. Luego, a medida que un ecosistema recupera la relación entre procesos ecológicos y estructura, puede restablecer su propiedad de autoorganización. Aquí un ecosistema es capaz de mantener una serie de relaciones de autocontrol o retroalimentación, lo que mejora su estabilidad. Posteriormente, emerge la propiedad de resiliencia, es decir, la capacidad de auto recuperarse de un factor estresante o disturbio.

Finalmente, la restauración ecológica busca recuperar la sustentabilidad de un ecosistema, es decir, la habilidad de persistir y autosustentarse indefinida-

mente. En esta etapa un ecosistema evoluciona, es dinámico y se adapta. Los profesionales de la restauración no pueden restaurar directamente la complejidad, autoorganización, resiliencia y sustentabilidad ecológica de un ecosistema degradado, pero sí pueden diseñar y ejecutar acciones que permitan activar procesos clave y reducir las amenazas.

FIGURA 3

Relación entre impulsores directos de cambio de ecosistemas, atributos ecológicos directos e indirectos de ecosistemas (degradados y restaurados) y provisión de servicios ecosistémicos en un paisaje.



Propiedades de un ecosistema

FUNCIONALIDAD ECOLÓGICA

Es el conjunto de procesos ecológicos que surgen de la interacción entre organismos vivos y con su ambiente abiótico. La funcionalidad puede ser monitoreada en términos de crecimiento y reproducción de organismos, o mediante evidencia indirecta como tamaño de las plantas, cobertura vegetal, producción de semilla, reproducción vegetativa.

COMPLEJIDAD ECOLÓGICA

Es la que surge como propiedad emergente de la estructura o de la heterogeneidad del ambiente físico, variaciones estocásticas en procesos ecológicos y los efectos diferenciales de los factores estresantes y perturbaciones en un ecosistema. Un plan de restauración ecológica debería facilitar la complejidad en términos de diferenciación de nicho.

INTEGRIDAD ECOSISTÉMICA

Es la habilidad de un ecosistema para mantener y sustentar funcionamiento ecológico, composición de especies y estructura comunitaria.

RESILIENCIA

Es la capacidad de un ecosistema de volver a su estado original previo a la ocurrencia de un disturbio.

Definiciones basadas en Clewell y Aronson (2013), Gann et al (2019).

La restauración ecológica puede incluir cualquier tipo de actividad cuya meta es recuperar los atributos de un ecosistema en relación con un modelo de referencia. En proyectos de restauración ecológica, los modelos deben estar basados en ecosistemas nativos, independientemente del tiempo que se requiera para lograr la recuperación.

Cuando la restauración ecológica se implementa de manera efectiva y sostenida, puede contribuir a recuperar la diversidad biológica, mejorar el bienestar humano, aumentar la provisión de múltiples servicios ecosistémicos y a mitigar los impactos del cambio climático (Figura 3).



©Fotografía de C. Echeverría.

CAPÍTULO 3

Principios y estándares internacionales de restauración ecológica

En noviembre de 2019, la Sociedad de Restauración Ecológica publicó la segunda edición de los Principios Internacionales y Estándares para la Práctica de la Restauración Ecológica⁴. Estos estándares proveen un marco de trabajo cuyo objetivo es mejorar la efectividad de los esfuerzos de restauración ecológica mediante la definición de criterios técnicos para el diseño, implementación y monitoreo de programas o proyectos de restauración. Los Estándares son una guía clara y robusta e internacionalmente consensuada que permiten guiar al profesional para obtener resultados de mayor impacto tanto en términos ecológicos como socioeconómicos.

Los Estándares reconocen ocho principios que proveen un marco de referencia para guiar y evaluar las actividades y productos de la práctica de la restauración ecológica.

Principio 1:

La restauración ecológica involucra a las partes interesadas.

Principio 2:

La restauración ecológica se basa en múltiples tipos de conocimiento.

Principio 3:

La restauración ecológica se basa en ecosistema nativo de referencia.

Principio 4:

La restauración ecológica sustenta los procesos de recuperación ecosistémica.

Principio 5:

La recuperación se evalúa en función de metas y objetivos claros, utilizando indicadores medibles.

Principio 6:

La restauración ecológica busca el mayor nivel de recuperación posible.

Principio 7:

La restauración ecológica gana valor acumulativo cuando se aplica a gran escala.

Principio 8:

La restauración ecológica forma parte de un conjunto de actividades restauradoras.

PRINCIPIO 1

La restauración ecológica involucra a las partes interesadas

La participación de las partes interesadas en un proyecto de restauración puede tener múltiples impactos positivos, no sólo en términos ecológicos sino también en los valores culturales, socioeconómicos y personales de quienes se involucran. El involucramiento de actores locales como comunidades, propietarios, grupos indígenas, jóvenes, mujeres, representantes de organizaciones, entre otros, pueden aportar componentes de justicia social al proyecto y financiación para las actividades que se ejecuten.

Se sugiere realizar un mapeo de las partes interesadas de un proyecto y levantar información relativa a los beneficios sociales que podrían esperar de la recuperación del ecosistema degradado. Dichos beneficios esperados pueden ser identificados usando una combinación de disciplinas desde la economía, sociología ambiental, sustentabilidad del paisaje, socio-ecología entre otras. A partir de esto, se pueden establecer metas sociales y de bienestar humano durante la etapa de diseño de un proyecto de restauración. Estas metas pueden estar asociadas a aquellas contribuciones de la naturaleza que son relevantes para el ser humano, es decir, aquellos servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales o para quienes se pueden beneficiar de la recuperación de un cierto ecosistema.

La restauración ecológica de ecosistemas degradados puede contribuir a recuperar la provisión de múltiples servicios ecosistémicos que son vitales para el ser humano, como el control de la erosión, captura y almacenamiento de carbono, belleza escénica, símbolos con significado cultural, provisión de agua y aire limpio, alimentos, plantas medicinales, entre otros. La identificación y priorización de éstos y otros servicios ecosistémicos permiten establecer objetivos y metas adecuados para sistemas socio-ecológicos en los que se busca mejorar tanto el componente social como ambiental.

A continuación se presentan algunos ejemplos de beneficios sociales e indicadores que pueden ser usados para evaluar el grado en que un proyecto de restauración ecológica logra el cumplimiento de metas de bienestar humano.

Estos beneficios también pueden aplicarse para la definición de metas y objetivos de un proyecto de restauración ecológica⁴:

- **Involucramiento de las partes interesadas:**

Capacidades aumentadas, actores atraídos por el proyecto, apoyo mantenido.

- **Distribución de los beneficios:**

Beneficios locales asegurados, oportunidades igualadas, valores culturales conservados.

- **Enriquecimiento de conocimientos:**

Conocimiento innovado, conocimiento ecológico local reforzado.

- **Capital natural:**

Suelo y agua reparados, plantas y animales conservados, carbono bajo manejo.

- **Economías sustentables:**

Eco-negocios asegurados, empleo generado, residuos circularizados.

- **Bienestar comunitario:**

Sentido de pertinencia, vínculo social, salud y bienestar mejorados.

PRINCIPIO 2

La restauración ecológica se basa en múltiples tipos de conocimiento

Se requiere de un alto grado de conocimiento ecológico y de la experiencia de profesionales de distintas disciplinas y diferentes tipos de conocimiento para el diseño e implementación de la restauración ecológica. Los mejores conocimientos disponibles sobre manejo medio ambiental, conservación biológica, botánica, vida silvestre, hidrología, ciencia del suelo, silvicultura, manejo de recursos naturales, entre otras disciplinas, son fundamentales para la práctica de la restauración ecológica.

Adicionalmente, el conocimiento ecológico tradicional, aquel que pasa de generación en generación, con fuerte memoria cultural, sensible al cambio y con reciprocidad, ofrece un entendimiento profundo de los procesos ecológicos que puede contribuir a recuperar ecosistemas degradados. Este tipo de conocimiento es cualitativo y de largo plazo, y está estrechamente relacionado con los tejidos sociales y valores espirituales de las culturas. El conocimiento ecológico local, aquel basado en el entorno y generado por quienes hacen uso de la tierra para fines productivos puede también ser relevante para restaurar ecosistemas.

El conocimiento científico, el local y tradicional que se tenga sobre un ecosistema pueden integrarse para generar proyectos de restauración más efectivos. Actores locales como propietarios, guardaparques, comuneros y científicos puede integrarse para generar antecedentes fundamentales sobre las condiciones ecológicas actuales y pasadas de un ecosistema, historia de uso, localización de ecosistemas de referencia, semillación de las especies, amenazas, entre otras. Todo el conocimiento disponible es vital para definir las mejores estrategias o tratamientos de restauración, así como también para el diseño de este tipo de proyectos.

PRINCIPIO 3

La restauración ecológica se basa en ecosistema nativo de referencia

A diferencia de otros enfoques, la restauración ecológica requiere identificar y caracterizar un modelo de referencia para el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de un proyecto o programa. Este modelo de referencia corresponde a un ecosistema nativo local, con características ambientales y ecológicas similares al sitio a restaurar, con mínima o nula intervención humana. El modelo de referencia debe corresponder a la condición que habría tenido el ecosistema si la degradación no hubiese ocurrido.

El modelo de referencia se puede generar a partir de la combinación de diferentes fuentes de información, desde documentación histórica hasta información actual de atributos ecológicos obtenidos en el campo. Los Estándares recomiendan considerar múltiples sitios de referencia que den cuenta de la variabilidad natural del ecosistema de referencia. Estos diferentes sitios representan los distintos estados sucesionales del modelo de referencia como también la variabilidad producto de diferentes condiciones de suelo, altitud, exposición, temperatura, humedad y otras variables.

El modelo de referencia debe capturar la complejidad ecológica y las dinámicas propias de cada tipo de ecosistema. La caracterización del ecosistema de referencia no debe ser vista como un punto fijo en el tiempo, sino que debe considerarse que los cambios son inherentes a los ecosistemas naturales producto de factores tanto exógenos como endógenos. De igual forma, es necesario considerar la influencia que puede tener el cambio climático en el ecosistema de referencia. Es posible que algunos ecosistemas experimenten cambios irreversibles en sus atributos, como por ejemplo el reemplazo de especies producto del cambio climático. Algunas especies pueden desaparecer mientras que otras especies nuevas forman parte de un ecosistema. Estos cambios indeseados en los ecosistemas conducen a considerar el cambio climático como un factor forzante importante al momento de definir el modelo de referencia. El potencial de restauración de un sitio debe ser evaluado desde una mirada que considere una condición ambiental cambiante del modelo de referencia, en la cual sus especies están sometidos a procesos de adaptación y extinción.

Para diseñar un proyecto de restauración se necesita caracterizar el modelo de referencia en base a seis atributos ecosistémicos: ausencia de amenazas, condiciones físicas, composición de especies, diversidad estructural, función ecosistémica e intercambios o flujos externos (Tabla 1).

TABLA 1

Atributos clave para caracterizar un ecosistema de referencia según los Estándares Internacionales de la SER (2019).

ATRIBUTO CLAVE	DESCRIPCIÓN
Ausencia de amenazas	Se han eliminado las amenazas directas para el ecosistema, como la sobrepastoreo, la contaminación, ramoneo, especies invasoras.
Condiciones físicas	Las condiciones ambientales (incluyendo las condiciones físicas y químicas del suelo y el agua, y la topografía) necesarias para mantener el ecosistema objetivo están presentes.
Composición de especies	Están presentes las especies autóctonas características del ecosistema de referencia apropiado, mientras que están ausentes las especies indeseables.
Diversidad estructural	Existe una diversidad adecuada de componentes estructurales clave, incluidos los estados demográficos, los niveles tróficos, los estratos de vegetación y la diversidad espacial del hábitat.
Función ecosistémica	Niveles adecuados de crecimiento y productividad, ciclo de nutrientes, descomposición, interacciones entre especies y tasas de perturbación.
Intercambios o flujos externos	El ecosistema está adecuadamente integrado en su contexto paisajístico o acuático más amplio mediante flujos e intercambios abióticos y bióticos.

Nota: Estos atributos también pueden ser usados para establecer la línea base de un ecosistema degradado y para la definición de metas, objetivos e indicadores de un programa de restauración.

DEFINICIONES DE LOS ESTÁNDARES

Ecosistema de referencia: Es una representación de un ecosistema nativo que es el objetivo de la restauración ecológica (a diferencia de un sitio de referencia). Un ecosistema de referencia suele representar una versión no degradada del ecosistema, con su flora, fauna y demás biota, elementos abióticos, funciones, procesos y estados sucesionales que podrían haber existido en el lugar de restauración si no se hubiera producido la degradación, y ajustado para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales o previstas. Los seis atributos clave son usados para describir el ecosistema de referencia.

Modelo de referencia: Es un modelo que describe la condición aproximada en la que se encontraría el sitio de restauración si no hubiera sido degradado (con respecto a la flora, fauna y otra biota, elementos abióticos, funciones, procesos y estados sucesionales). Esta condición no es la misma del estado histórico, sino aquella que tendría tomando en cuenta la capacidad inherente de los ecosistemas para cambiar en respuesta a las condiciones ambientales cambiantes. El modelo de referencia es el que se utiliza para planificar y comunicar una versión compartida de los objetivos y metas de un plan de restauración ecológica.

Sitio de referencia: Es un sitio intacto que tiene atributos y una fase sucesional similar al sitio del proyecto de restauración y que se utiliza para construir el modelo de referencia. Lo ideal sería que el modelo de referencia incluyera información de múltiples sitios de referencia.

PRINCIPIO 4

La restauración ecológica sustenta los procesos de recuperación ecosistémica

Las acciones de restauración ecológica buscan reinstalar las condiciones ecológicas idóneas para que ciertos procesos naturales se activen y así se recuperen los atributos ecológicos que se han perdido. Se busca asistir a los procesos naturales hasta el punto en que el potencial de recuperación se haya subsanado.

Un primer paso para definir una estrategia de recuperación es evaluar la existencia de barreras o filtros que limitan la recuperación del ecosistema original. Estas barreras pueden ser herbivoría, falta de propágulos o presencia de especies invasoras que compiten por los recursos. En algunos casos, quitar estas barreras puede activar procesos naturales que son clave para la recuperación de un ecosistema degradado. Este tipo de estrategia debe incluir una evaluación del potencial de restauración de las especies remanentes para colonizar áreas degradadas. En estos casos se sugiere examinar los rasgos funcionales de las especies presentes y su capacidad de dispersión. En algunos casos de restauración de bosques, el control de los factores exógenos limitantes como herbivoría por ganado puede inducir a la regeneración natural de plantas nativas en el sitio. Sin embargo, existen otras situaciones donde el potencial de recuperación es nulo o muy bajo, lo que implica usar estrategias de regeneración asistida para iniciar la recuperación del ecosistema.

UNA EVALUACIÓN A PRIORI DE LA RESTAURACIÓN DEBERÍA SER REALIZADA PARA DETERMINAR:

- Potencial de regeneración después de eliminar las causas de degradación
- Necesidad de reinstalar los elementos bióticos y abióticos faltantes

PRINCIPIO 5

La recuperación se evalúa en función de metas y objetivos claros, utilizando indicadores medibles

Durante la etapa de diseño de un plan de restauración, se recomienda establecer las metas y objetivos para la recuperación de atributos ecológicos y sociales. Adicionalmente, se deben establecer indicadores para evaluar el progreso de la recuperación mediante un programa de monitoreo.

En primer lugar, se debe realizar un estudio de línea base del área degradada, el cual describe la situación actual de los atributos ecosistémicos clave, como es la condición física, composición de especies, diversidad estructural, función ecosistémica e intercambios externos (Tabla 1). Esta información permitirá saber hasta qué grado el área degradada dista del ecosistema de referencia. Las evaluaciones deberán emplear indicadores que permitan detectar cambios para cada uno de los seis atributos clave en relación con la condición de línea base.

Las metas de un proyecto de restauración deberían apuntar al grado de recuperación de cada atributo. Las metas son declaraciones de la condición ecológica o social deseada a mediano y largo plazo. Deben estar claramente conectadas con el ecosistema objetivo, medible, limitada en el tiempo y específica.

El ecosistema objetivo de un proyecto de restauración corresponde al ecosistema nativo que se busca restaurar en un sitio según el modelo de referencia. Es el ecosistema al cual se desea llegar. Cuando la recuperación completa de un ecosistema es posible, el ecosistema objetivo se alinea con el modelo de referencia. En cambio, cuando se anticipa una recuperación parcial, el ecosistema objetivo será distinto al modelo de referencia.

Los objetivos de un plan de restauración corresponden a un resultado intermedio a lo largo de la trayectoria de recuperación. Éstos deberían claramente señalar:

- *El indicador que será medido, por ejemplo: riqueza de plantas vasculares, altura media de los árboles*
- *La tendencia esperada del indicador: aumenta, disminuye o se mantiene*
- *La magnitud deseada del efecto, por ejemplo: 10%, 50%*
- *El horizonte de tiempo, por ejemplo: 5 años, 10 años*

Los indicadores deben ser específicos, cuantificables y relacionados con los atributos clave. Los indicadores sirven para medir cambios en los atributos físicos como densidad y humedad del suelo, en los químicos como concentración de nitrógeno y pH, y en bióticos como riqueza de especie y densidad poblacional, a través del tiempo.

Algunos ejemplos de metas y objetivos de un plan de restauración ecológica de bosques serían:

Metas:

Más de un 50% de las especies arbóreas corresponden a *Nothofagus glauca* o *N. alessandrii* en un plazo de 10 años.

La composición y funcionalidad del área previamente invadida en recuperación dentro de siete años.

Objetivos:

La densidad de plantas invasoras se ha reducido en un 50% al cabo de 5 años.
Cese del pastoreo en un año.

Aumento de la riqueza de especies de al menos cinco especies arbustivas dentro de los primeros tres años.

TABLA 2

Conceptos utilizados en la planificación de un proyecto de restauración ecológica.

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Alcance	Área geográfica o foco temático del proyecto.
Visión	Un resumen de la condición deseada (general, visionaria y breve)
Ecosistema objetivo	Los ecosistemas nativos a ser restaurados de un lugar, junto con los resultados sociales esperados.
Metas	Declaración formal de medio a largo plazo de la condición ecológica y social deseada. Medible, tiempo limitado y específico.
Objetivos	Declaración formal de los resultados en el corto plazo, claramente vinculados con las metas y ecosistema objetivo. Medible, tiempo limitado y específico.
Indicadores	Sociales y ecológicos, específicos, cuantificables y miden atributos que permiten conectar objetivos con metas.

LA EVALUACIÓN DEL PROGRESO HACIA EL ECOSISTEMA OBJETIVO DEBERÍA INCLUIR INDICADORES DE LOS ATRIBUTOS CLAVE DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA.

PRINCIPIO 6

La restauración ecológica busca el mayor nivel de recuperación posible

A diferencia de otros enfoques, la restauración ecológica busca lograr el mayor nivel de recuperación de los atributos clave del modelo de referencia. Al momento de definir las metas y objetivos de un proyecto o plan de restauración, se debe tener claro la condición actual del ecosistema degradado y el ecosistema objetivo que se pretende lograr. Muchas veces la falta de recursos financieros para una adecuada mantención de los procesos naturales de recuperación y monitoreo continuo de indicadores ecológicos y sociales, limitan las metas que se pueden establecer.

Para evaluar la recuperación ecológica, se sugiere utilizar herramientas estadísticas o esquemas que permitan visualizar el grado de recuperación de un ecosistema a través del tiempo. Los Estándares sugieren utilizar la rueda de la recuperación ecológica a una escala de cinco estrellas, en la cual las respuestas a los tratamientos son evaluadas en cinco diferentes niveles con respecto a un ecosistema de referencia. Un valor bajo podría significar que los sustratos están remediados, existe una cierta colonización de especies nativas y existe potencial para un intercambio de especies y genes con el entorno. En cambio, valores altos podrían significar que existe una evidente recuperación de procesos naturales alineados con el ecosistema de referencia, y que la complejidad y patrón espacial permiten la autoorganización.

**EVALUAR CONTRA LOS ATRIBUTOS CLAVE
DEL ECOSISTEMA DE REFERENCIA**

PRINCIPIO 7

La restauración ecológica gana valor acumulativo cuando se aplica a gran escala

Muchos fenómenos de la naturaleza se pueden observar a ciertas escalas temporales y espaciales. Por ejemplo, para conocer la distribución de una especie se requiere el desarrollo de estudios a una escala espacial tal que capture el rango geográfico completo de ocurrencia de la especie. Los procesos de erosión pueden ser estudiados a una escala de cuenca, en cambio, los patrones de interacción entre dos especies (polinización y depredación) ocurren a una escala de tiempo y espacio más fino. Así, múltiples patrones y procesos ecológicos de la biodiversidad son escala dependiente y no todos ocurren a una escala de sitio.

La conectividad biológica es uno de los procesos a nivel de paisaje que se ha visto gravemente afectado por acciones humanas. Muchas especies no pueden desplazarse por los paisajes quedando restringidas a hábitats de menor tamaño, aisladas y sin posibilidad de acceder a nuevos ambientes. Similarmente, muchas cuencas deforestadas experimentan altas tasas de erosión y arrastre de sedimentos y nutrientes a cientos de kilómetros de distancia. Los incendios forestales a gran escala impactan múltiples tipos de ecosistemas tanto naturales (matorrales, espinales y bosques nativos) como antrópicos (plantaciones forestales). La alteración del régimen hídrico de cuencas por cambios de uso del suelo, provocan impactos negativos en el nivel de los caudales y en la calidad del agua. Estos y muchos otros procesos naturales requieren ser recuperados mediante acciones ejecutadas y bien coordinadas a una escala mayor que la de sitio. Por tal razón, se necesitan desarrollar proyectos de restauración ecológica a gran escala de tal manera que se produzcan los beneficios ambientales y ecológicos deseados.

Por otra parte, los países plantean metas o compromisos como protección de especies o ecosistemas amenazados, acciones para el logro de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y carbono neutralidad. El escalamiento de la restauración ecológica puede aportar de manera directa al cumplimiento de muchas de estas metas. La captura y almacenamiento de carbono mediante la restauración ecológica de ecosistemas boscosos destruidos o degradados

puede jugar un rol clave en combatir la crisis climática global. Así también, la recuperación de especies amenazadas que requieren grandes extensiones de hábitats (ej. mamíferos) puede lograrse mediante la implementación de acciones de restauración ecológica a gran escala.

Un programa de restauración a gran escala puede aplicarse mediante un enfoque multiescala de varios proyectos o iniciativas a diferentes escalas espaciales y temporales pero que estén estratégicamente integradas. Estos proyectos pueden estar espacial y funcionalmente conectados dentro de un paisaje y cuya interacción puede conducir a recuperar procesos o atributos de mayor escala.

La planificación de un programa de restauración a escala de paisaje debe considerar un enfoque participativo para la identificación de los desafíos socio-cietarios. Para ello se debe identificar los actores relevantes y sus intereses y necesidades específicos, tales como comunidades locales, ONGs, gobierno, empresas y academia. Un ejemplo de ello es la aplicación de la Metodología de Evaluación de Oportunidades de Restauración (ROAM en inglés) para el desarrollo de un Plan de Restauración de la Región del Maule por un equipo de investigadores liderados por el Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP) de la Universidad de Concepción. Mediante la realización de múltiples talleres con actores de los diferentes paisajes de la región y considerando una evaluación de servicios ecosistémicos y de biodiversidad, se identificaron los principales objetivos de restauración para la región.



©Fotografía de C. Echeverría

La planificación de la restauración a gran escala puede plantearse mediante diversos enfoques. Uno de ellos es desarrollar un plan de restauración ecológica de ecosistemas degradados a gran escala espacial. Esto equivale a diseñar e implementar la recuperación de ciertos tipos de ecosistemas (ej. bosques de araucaria) a una extensa superficie (dentro de una comuna, provincia o región) siguiendo los principios de la SER, considerando modelos de referencia y atributos clave a nivel de ecosistema. Por lo general, la ejecución de un proyecto o plan de restauración ecológica a escala de sitio o predial puede conducir a la recuperación de procesos ecológicos a la misma como, por ejemplo, mejoramiento de la tasa de ciclaje de nutrientes, aumento del tamaño de una población local de fauna o flora, recuperación de los disturbios ecológicos (caída de árboles) y estructuras boscosas.

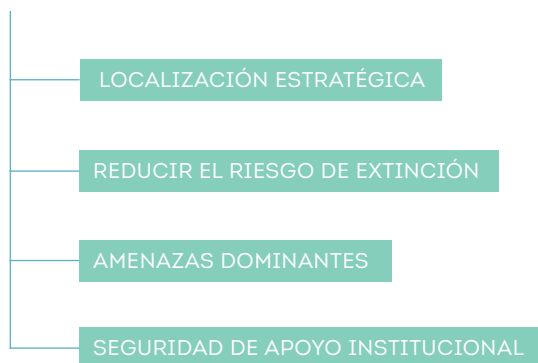
Adicionalmente, la restauración ecológica a una mayor extensión espacial (provincial o regional) puede tener otros múltiples impactos positivos a nivel de paisaje, como la recuperación de tipos y superficie de ecosistemas, interacción entre ecosistemas, flujo de genes, hábitat para especies que demandan grandes superficies, recuperación de procesos hidrológicos a escala de cuenca, entre otros. A su vez, la recuperación de procesos ecosistémicos a gran escala puede tener beneficios en aquellos escala dependiente, como la provisión de agua para consumo humano, el control de la temperatura del aire, belleza escénica de los paisajes, entre otros.

La restauración ecológica también puede ganar valor cuando se integra dentro de un plan basado en el concepto de restauración del paisaje. Éste se basa en los principios de la ecología de paisaje y de la ciencia de la sustentabilidad del paisaje, en el cual éste es visto como un sistema socio-ecológico y, por ende, se busca cumplir metas sociales y ecológicas. La restauración del paisaje busca recuperar la integridad ecológica a nivel de paisaje y su capacidad para proveer en el largo plazo los servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano. Un plan de restauración de paisaje debería incluir la restauración ecológica de ecosistemas a gran escala, así como también otras actividades restauradoras (Principio 8) como la rehabilitación, reforestación y reclamación. A escala de paisaje no se busca recuperar atributos siguiendo un paisaje de referencia, sino que se debe realizar una evaluación a escala de paisaje de los procesos de degradación y oportunidades de restauración a la

misma escala de manera participativa. Es fundamental evaluar el estado de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que las personas demandan y que los ecosistemas ofrecen.

Llevar a cabo un plan de restauración de paisaje requiere que el profesional a cargo cuente con conocimientos profundos en los atributos ecológicos a nivel de paisaje y de la interacción entre la integridad ecológica y necesidades humanas. La restauración ecológica busca recuperar atributos a nivel de ecosistema o comunidad (composición, estructura y función) a una escala más local o de sitio, por tal razón los atributos que se buscan recuperar en la restauración de paisaje pueden diferir (patrones espaciales y funciones de paisaje).

Características que contribuyen a mejorar el potencial de un proyecto



PRINCIPIO 8

La restauración ecológica forma parte de un conjunto de actividades restauradoras

La restauración ecológica puede ser vista como un elemento dentro de un gradiente o continuo de varias actividades restauradoras. Una actividad restauradora es aquella que busca recuperar directa o indirectamente atributos de un ecosistema que han sido degradados o perdidos. Por un lado de este gradiente, existen aproximaciones bastante básicas que permiten recuperar ciertos atributos específicos y obtener limitados beneficios (ej. la remediación de un ecosistema contaminado busca eliminar la causa de la degradación).

En el otro extremo, está la restauración ecológica que busca recuperar los atributos clave con múltiples beneficios. Este gradiente de actividades restauradoras ofrece un amplio enfoque de opciones para recuperar ecosistemas, cuya selección en particular va a depender de los objetivos que se plantee el profesional, como también de las condiciones ecológicas, sociales y financieras.

Por un extremo del gradiente restaurador de ecosistemas arbóreos, está la reforestación con especies exóticas, la cual es una práctica ampliamente usada en varios países y busca la recuperación de ciertas funciones especialmente del suelo y servicios ecosistémicos en áreas donde hubo vegetación arbórea y ésta ha sido removida. Esta actividad puede frenar la erosión del suelo por ciertos periodos de tiempo al reducir la escorrentía superficial y la precipitación directa por la intercepción y consumo hídrico ejercidos por los árboles, mientras al mismo tiempo se produce madera para fibra o biomasa. En este caso se establecen sólo especies arbóreas de rápido crecimiento, y cada cierto tiempo ocurre una eliminación completa de todo el ecosistema arbóreo (cosecha mediante tala rasa) producto del manejo forestal.

Avanzando en el gradiente, puede existir la reforestación con especies nativas como roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*N. alpina*), coihue (*N. dombeyi*), lenga (*N. pumilio*), quillay (*Quillaja saponaria*), peumo (*Cryptocaria alba*), entre otras especies que suelen ser usadas en Chile. Se trata de terrenos previamente

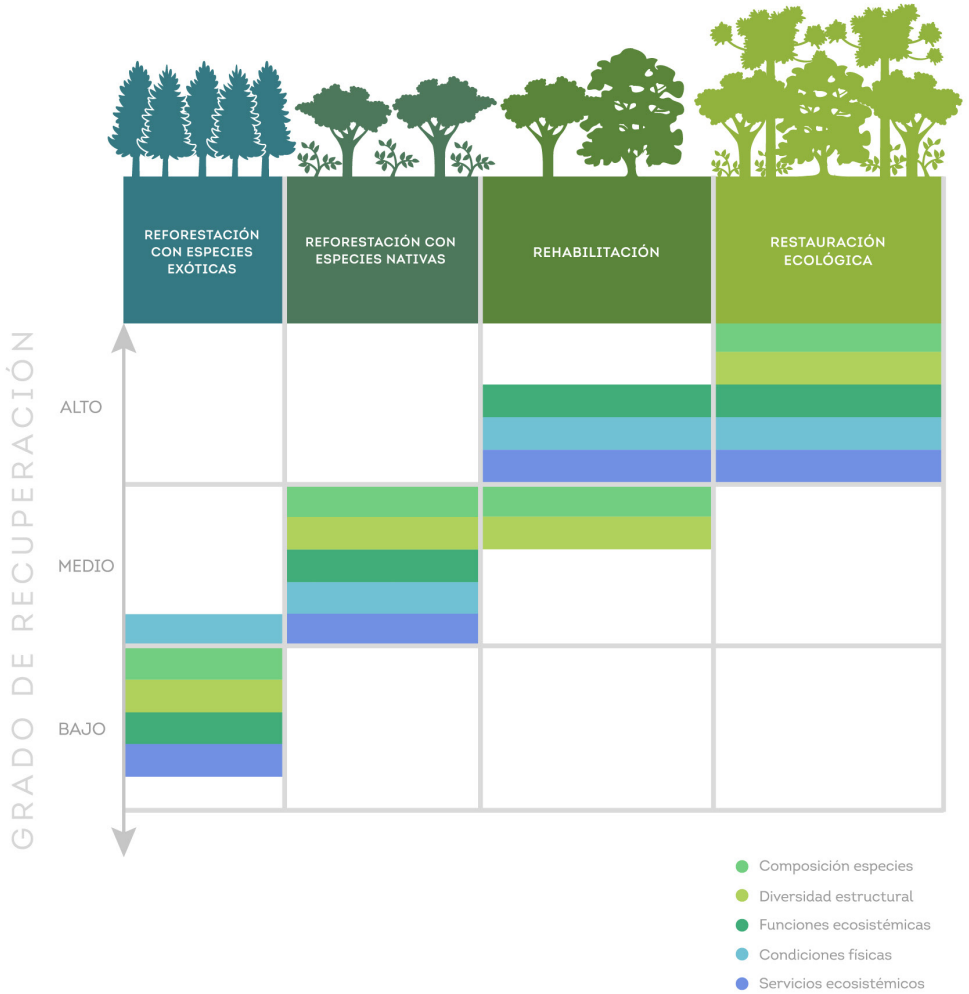
ocupados por bosques nativos que fueron destinados a agricultura, ganadería y otros usos antrópicos que pueden ser reforestados con especies nativas y recuperar atributos adicionales a la reforestación con especies exóticas. De igual forma, los beneficios en término de biodiversidad se incrementan y pueden proveer más beneficios para las comunidades locales (Figura 4).

La rehabilitación es otra actividad restauradora del gradiente que puede mejorar las condiciones ambientales y revertir algunos procesos de degradación. Esta actividad busca más bien recuperar el funcionamiento de un ecosistema degradado que su integridad o complejidad ecológica. Se ejecuta sin necesidad de basarse en un ecosistema de referencia, y con el fin de recuperar ciertas especies y recuperar la provisión de algunos servicios ecosistémicos.

Cuando se desea rehabilitar un sitio afectado por una actividad industrial intensa (ej. sitios post-minería o post-industrial) se suele llamar reclamación. Puede existir una conexión entre la rehabilitación y restauración ecológica cuando la primera logra recuperar ciertas condiciones ecológicas que dan pie para iniciar o para continuar bajo un esquema de restauración ecológica (Figura 4). A medida que se avanza en este gradiente de actividades restauradoras, la integridad ecológica mejora, así como también se requiere una mayor integración de múltiples disciplinas incluyendo ciencia del suelo, hidrología, ecología forestal, agronomía, horticultura, silvicultura, conservación biológica, ecología de paisaje, sociología ambiental entre otras. A lo largo de este gradiente, se logra una mayor complejidad ecológica y funcionalidad ecosistémica, y el hábitat para vida silvestre y los servicios ecosistémicos se diversifican y mejoran en calidad. La restauración ecológica viene siendo el enfoque práctico que mejor puede ayudar a alcanzar los niveles más altos de recuperación.

FIGURA 4

Gradiente restaurativo de ecosistemas boscosos



Forestación: Actividad que busca introducir especies arbóreas nativas o exóticas en un área donde el uso o cobertura del suelo histórico no evidencia la existencia de bosque en el pasado. Un ejemplo es la forestación con especies arbóreas en la etapa patagónica, lo cual no constituye una actividad restauradora. En general, la forestación se realiza siguiendo una estructura regular de sus componentes y se hace con fines productivos tales como madera, leña, fibra, biomasa y no busca recuperar los atributos ecológicos de un ecosistema boscoso de referencia.

Reforestación: Actividad que busca reintroducir especies arbóreas nativas o exóticas en un área donde el uso o cobertura del suelo anterior correspondía a un bosque nativo o exótico. En general, esta actividad se realiza siguiendo una estructura regular de sus componentes y se hace con fines productivos tales como madera, leña, fibra, biomasa y no se basa en los atributos ecológicos de un ecosistema de referencia.

Rehabilitación: Actividad que busca recuperar el funcionamiento de un ecosistema degradado, sin necesidad de basarse en un ecosistema de referencia, y con el fin de mantener ciertas especies y recuperar la provisión de algunos servicios ecosistémicos. En general, esta actividad se realiza con fines productivos tales como la obtención de madera, leña, fibra, biomasa. Cuando un proyecto de rehabilitación logra cierta recuperación de condiciones ecológicas, éste puede continuar bajo un esquema de restauración ecológica.

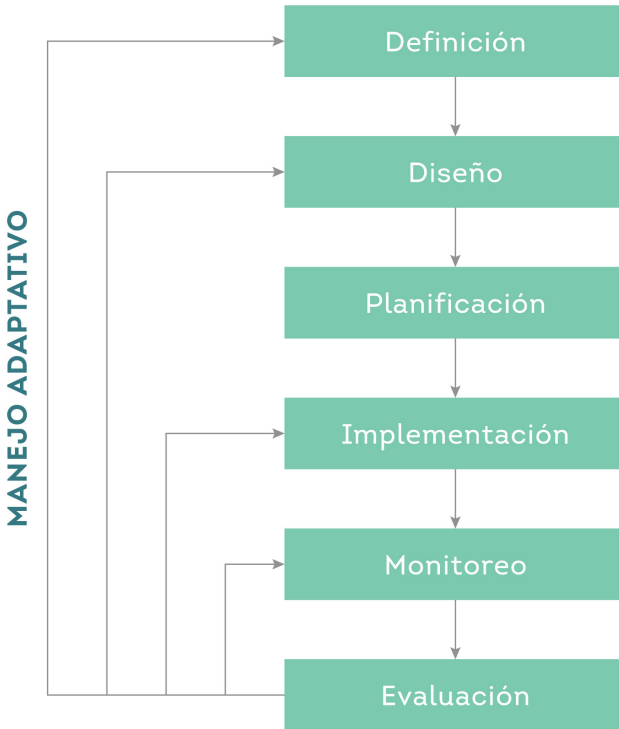
Remediación: Actividad planificada de manejo que busca eliminar la fuente de degradación o contaminación. Ejemplo: remoción de exceso de nutrientes en el agua.

Reclamación: Actividad que busca hacer productivo para algún uso humano un área severamente degradada. Ejemplo, convertir un sitio de relave para uso agrícola.

CAPÍTULO 4

Etapas de un plan de restauración ecológica de bosques nativos degradados

En la literatura existen diversos enfoques y diferentes etapas para el desarrollo de un plan de restauración. De acuerdo con la experiencia lograda a través de las acciones desarrolladas en el Parque Nacional Nonguén y otras iniciativas, se proponen las seis siguientes etapas clave a considerar en cualquier plan de restauración (Figura 5).



ETAPA 1

Definición del plan de restauración

Existen diferentes circunstancias en las cuales un plan de restauración ecológica puede ser desarrollado. Una de ellas puede venir a petición de un propietario particular que desea recuperar un ecosistema en su propiedad sin ningún tipo de compromiso previo con la autoridad ambiental. Otra situación que es común actualmente es la ejecución de un plan de restauración producto de la compensación ambiental asociada a una resolución de calificación ambiental. En este último caso, puede suceder que el lugar donde se lleva a cabo la compensación no sea propiedad del titular del proyecto si no de terceros, tales como propietarios o áreas municipales y del Estado disponibles para tal propósito. También puede darse el caso que la propiedad donde existe el ecosistema degradado pertenezca al titular del proyecto. Finalmente, y contrariamente a lo que se pueda pensar, un escenario probable para el desarrollo de planes de restauración ecológica es en el ámbito de áreas silvestres protegidas ya sean estas públicas o privadas. Hay zonas del país donde las áreas silvestres se han establecido en zonas representativas de la diversidad biológica local, pero producto de una histórica presión humana han sido víctimas de continuos procesos de alteración ambiental sin posibilidad de proteger una condición prístina. Esto ha obligado a sus organismos administradores a utilizar la restauración ecológica como una herramienta para ayudar a la recuperación de las funciones esenciales ecosistémicas, que por la vía de la regeneración natural no necesariamente sería capaz de lograrse.

Independientemente de cuáles sean las circunstancias que conllevan al desarrollo de un plan de restauración ecológica, es recomendable que primero se expongan los principios de ésta a la contraparte y a todas las partes interesadas que tendrán vínculo directo e indirecto con el plan.

Luego, se deben identificar las necesidades de restauración de los actores involucrados. Aquí las preguntas suelen ser por qué restaurar y qué se debe restaurar. Esto último permite identificar las oportunidades de restauración

que el o la propietaria identifica para luego ser examinado y validado por el profesional de la restauración. Se deben conocer las limitantes ecológicas (grado de invasión, propágulos cercanos), ambientales (topografía, precipitación, etc.) y antrópicas (uso del suelo del lugar) actuales del área degradada. También es recomendable identificar los disturbios antrópicos y naturales que han provocado la alteración o transformación de la condición ecológica del lugar tales como ramoneo de animales domésticos o silvestres, extracción ilegal de madera, deslizamiento de tierra, incendios, vulcanismos, entre otros.

Algo muy relevante y que define en cierta medida la sostenibilidad del plan de restauración es saber si existen compromisos a largo plazo de parte del propietario. Aquí es conveniente establecer acuerdos formales entre éste y quien financia o ejecuta la restauración. Se debe evaluar y definir la escala espacial y temporal del plan que se desea ejecutar, es decir, cuántas hectáreas serán recuperadas cada año y por cuánto tiempo. De igual forma, se deben identificar las limitantes sociales legales políticas y económicas asociadas al área a restaurar. Se sugiere asegurar la tenencia de la tierra en el largo plazo para el desarrollo de la restauración y posterior monitoreo de los indicadores de éxito. Es necesario saber si existen restricciones legales respecto al uso del territorio o bien si existen algunas restricciones económicas para poder llevar a cabo el plan de restauración a la escala temporal y espacial que se desea.

Es necesario reunir toda la información social, ecológica y económica que posean las partes interesadas como también planificar el levamiento de nueva información que se requiera. Es vital interiorizarse en el conocimiento tradicional e indígena que posean los actores locales, ya que eso puede mejorar la efectividad de las acciones que se realicen. La multiplicidad de saberes de las comunidades locales puede dar recomendaciones de, por ejemplo, la fecha idónea de plantación, qué especie crece mejor, cuál es el régimen de un cierto disturbio (frecuencia, distribución espacial, cuándo comienzan las lluvias, etc.).

Los resultados esperados de la Etapa de Definición son:

- Acuerdo formal con propietario, indicando superficie y periodo de restauración.
- Limitantes ecológicas, sociales, económicas, legales y culturales identificadas.
- Oportunidades de restauración consensuadas con propietario.
- Estimación general de los costos de plan de restauración.
- Las partes interesadas están informadas.

Preguntas asociadas a la Definición del Plan:

- ¿Cuáles son las necesidades de restauración del solicitante?
- ¿Cuáles son las necesidades ecológicas del solicitante?
- ¿Qué tipo de información se tiene disponible?
- ¿Cuáles son los compromisos a largo plazo del solicitante?
- ¿Cómo el solicitante visualiza las oportunidades de restauración?
- ¿Qué limitantes sociales, legales, económicas y ecológicas considera el solicitante?
- ¿A qué escala espacial el solicitante visualiza el plan de restauración?
- ¿Cuáles son los objetivos del solicitante?

Luego de reunir toda la información necesaria del área a restaurar se debe definir el modelo de referencia. Para ello se considera la afinidad biogeográfica entre la localización del área degradada y el ecosistema referencia. El modelo de referencia se caracteriza en base al establecimiento de parcelas de muestreo en al menos dos o tres sitios de ecosistema de referencia nativo y local. La selección de estos sitios debe considerar el estado sucesional en el que se encuentra el ecosistema de referencia de tal manera que éste pueda ser relacionado con la condición actual del ecosistema degradado. Por ejemplo, si se requiere restaurar un área completamente descubierta de vegetación nativa, es necesario identificar un ecosistema de referencia lo más cercano a una condición inicial de recuperación natural. En ese ecosistema de referencia se identifican las especies pioneras que inician la sucesión ecológica. En el caso que el ecosistema a restaurar presente niveles bajos de degradación es posible que un ecosistema de referencia en estado sucesional avanzado sirva de modelo para el diseño de la restauración.

El tamaño de las parcelas de muestreo del ecosistema de referencia debe ser variable, según el indicador del atributo ecosistémico a caracterizar. A diferencia de otras actividades restauradoras, la restauración ecológica busca simular los atributos del modelo de referencia. En particular, el diseño de distribución de las plantas nativas a establecer debe seguir un arreglo espacial lo más similar al ecosistema de referencia y no seguir una distribución regular como otras actividades restauradoras tradicionales. Para dicho objetivo, es vital caracterizar la estructura o patrón espacial de las especies arbóreas que dominan los sitios de referencia a caracterizar. Se recomienda describir un mapa de fustes in situ mediante el levantamiento de dos o tres parcelas de 1 hectárea cada una, en la que cada individuo en estado arbóreo (> 2 m de altura y > 5 o 10 cm diámetro según densidad de árboles y complejidad del lugar) se georreferencia y se identifica la especie.

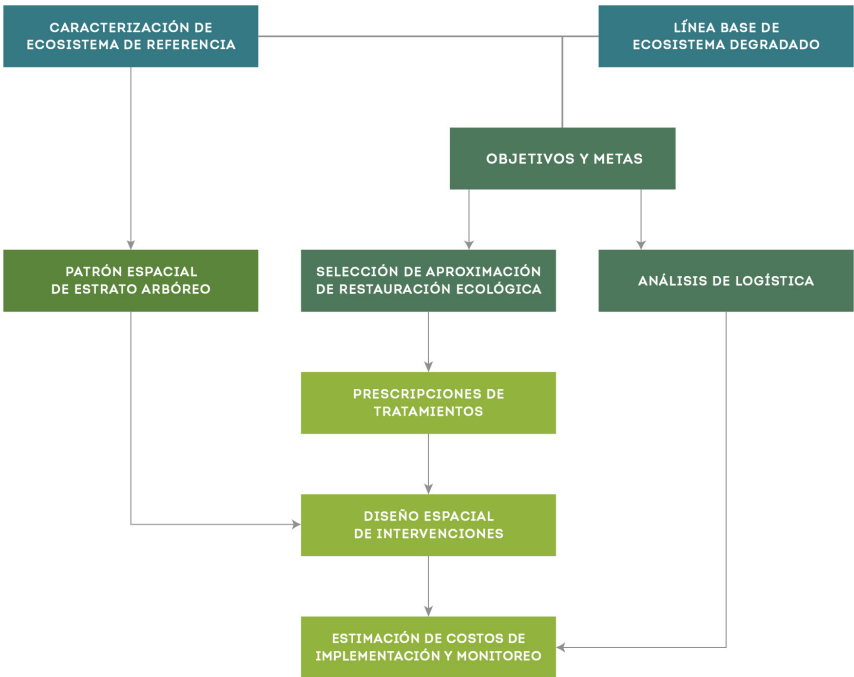
Una vez identificado y descrito el modelo de referencia, se define el ecosistema objetivo del plan de restauración. Este ecosistema objetivo puede ser un estado sucesionalmente más temprano que el ecosistema de referencia, según

la condición actual del ecosistema degradado. Este ecosistema objetivo es el que se utiliza de base para definir posteriormente las metas y objetivos del plan.

Otra actividad central del diseño es el levantamiento de la línea base del ecosistema degradado. Aquí se deben establecer parcelas de muestreo para evaluar el régimen de disturbio del lugar, en términos de las causas, frecuencia, intensidad y extensión espacial de los agentes que degradan. Se analiza el estado actual de los atributos bióticos y abióticos del ecosistema, por ejemplo, abundancia y riqueza de las especies nativas y exóticas presentes, presencia de especies amenazadas, condición física y química del suelo, estructura de la vegetación, entre otras variables. Es recomendable dejar delimitada una o unas parcelas de tipo testigo en el área degradada, sin intervención, para evaluar posteriormente el impacto de las acciones de restauración (Figura 6).

FIGURA 6

Marco de trabajo general de la etapa de diseño de un plan de restauración ecológica de bosques.



Una vez realizada la caracterización del ecosistema de referencia y el levantamiento de la línea base, se procede a definir las metas y objetivos ecológicos y sociales del plan. Se sugiere ser realista y no plantearse metas y objetivos muy ambiciosos para esta etapa, dado la serie de imprevistos humanos y naturales que pueden surgir y alterar la trayectoria de recuperación. Además, es útil saber que no todos los atributos clave se recuperan al mismo tiempo. La funcionalidad ecosistémica puede tardar más tiempo en recuperarse que la riqueza florística de especies pioneras, que suele ser lograda en gran parte mediante la plantación de especies. De igual forma, el tipo de propiedad de la tierra ya sea individual o comunitario, público o privado, demanda diferentes estrategias para el logro de las metas y objetivos.

Dado que los patrones de recuperación natural (sucesión ecológica) difieren entre ecosistemas, es importante tener en cuenta cómo esos patrones se han visto alterados por acción humana directa, o bien, por fenómenos de mayor escala como el cambio climático. Antes de implementar acciones, se sugiere analizar la capacidad de recuperación de cada especie presente en el lugar o de aquellas que se planea reintroducir frente a algún tipo de tratamiento. También se deben identificar las barreras ecológicas y sociales que pueden afectar la efectividad de los tratamientos que se deseen implementar, de manera de hacer uso eficiente de los recursos económicos y humanos disponibles. La falta de propágulos in situ, ausencia de nichos, sustrato del suelo alterado o sin horizontes orgánicos, herbivoría por ganado o roedores, preferencia de especies exóticas por el propietario, ausencia de plantas de las especies objetivo en el mercado, incompatibilidad con usos del suelo circundante y rechazo de parte del propietario a la corta de árboles exóticos para la preparación de sitio son algunas de las barreras que debe atenderse ante de implementar.

Existen diferentes tipos de aproximaciones de restauración ecológica. Su selección depende de múltiples factores incluyendo el estado inicial de la condición en que se encuentre el ecosistema degradado, el potencial de restauración del lugar, el tiempo destinado para el plan, los recursos financieros disponibles, entre otros. El plan debiera señalar claramente las prescripciones técnicas de las aproximaciones a utilizar y sus respectivos tratamientos para los sitios o zonas del área a restaurar.

Entre las aproximaciones de restauración más comunes que los autores de este libro han aplicado y que son recomendadas por los Estándares están:

Regeneración natural: Aquí se controla la amenaza o agente de disturbio y el ecosistema se recupera sin mayor intervención. En este caso, el grado de alteración antrópica es bajo y aún existen poblaciones de plantas y animales nativas en el lugar o alrededores que pueden recuperarse por sí solos. La causa del daño puede ser solucionado mediante cercado, remoción de contaminantes o desechos de origen humano. En ocasiones, el cese del ramoneo de animales mayores mediante cercado perimetral del área a restaurar permite el rebrote y germinación de especies nativas. Aquí debe existir un potencial de restauración importante para optar por este tipo de aproximación de restauración ecológica.

Regeneración asistida: Aquí el grado de degradación es mayor que el caso anterior pero no extremo. Se requiere atender la causa de degradación e implementar acciones para recuperar atributos que han sido parcial o totalmente alterados. Ejemplos de acciones pueden ser: reforzar una población en declive y de baja diversidad genética, controlar la expansión de especies invasoras, instalar atributos estructurales específicos como perchas para rapaces, troncos caídos o árboles muertos en pie, recuperar el flujo de un río que ha sido alterado, mejorar la estructura del suelo, etc.

Reconstrucción: Esta aproximación se aplica cuando ha ocurrido una destrucción completa del ecosistema original y no existe un patrón de sucesión ecológica natural. Aquí se deben recuperar los componentes bióticos y abióticos, detener la causa de degradación y eventualmente reintroducir especies identificadas en el modelo de referencia. Un ejemplo de esto son grandes extensiones densamente ocupadas por especies exóticas invasoras como *Acacia dealbata* y *A. melanoxylon*, donde prácticamente no existen especies vegetales nativas y es necesario la reintroducción de especies nativas pioneras.

Una vez decidido el tipo de aproximación, es necesario definir el tipo de tratamiento o intervención a realizar para iniciar la trayectoria deseada. Cuando se asiste la recuperación de manera activa, por lo general, se comienza con la preparación del sitio, en la cual se retiran desechos de origen humano o infraestructura abandonada que reduce el espacio para recuperar hábitat. También se incluye el control manual o mecanizado mediante roce de especies exóticas, invasoras y especies vegetales que inhiben la sucesión como *Chusquea spp* que suelen establecerse después de los incendios. Posterior al roce, se sugiere aplicar el triturado de los desechos vegetales y distribuirlos de manera homogénea en el mismo lugar para su uso como *mulch*. Experiencias muestran que sitios cubiertos con una capa de *mulch* de aproximadamente de 10 cm de alto retarda o inhibe sustancialmente el rebrote de especies invasoras dentro de un año. Adicionalmente, una capa de *mulch* alrededor de las especies plantadas puede reducir la pérdida de humedad del suelo superficial y favorecer así la sobrevivencia y crecimiento de las plantas en periodos de estrés hídrico. Otro beneficio de la aplicación de triturado de los desechos del roce o faenas forestales es la reducción considerable del riesgo de incendios.

El control manual es adecuado en la regeneración asistida, en cambio cuando se aplica la reconstrucción, el control mecanizado es una opción más rentable. Según el grado de invasión y presencia de especies de flora y fauna nativa, se puede aplicar control químico estrictamente dirigido al follaje de especies invasoras y por personal certificado. Las especies herbáceas, arbustivas y árboles pioneros pueden ser usadas para iniciar la recuperación de un ecosistema que ha sido completamente eliminado.

En condiciones avanzadas de degradación, se suele hacer una preparación del suelo. Esta puede ser mediante subsolado, arado u otro tratamiento que permita mejorar la retención de agua y nutrientes para las plantas. Es necesario sincronizar la distribución espacial de las áreas sujetas a preparación de suelo con el posterior patrón espacial de plantas a establecer.

En el caso de regeneración asistida, se pueden establecer ciertas especies vegetales que han desaparecido por acción humana y que su establecimiento per-

mitiría volver a poner al ecosistema en la trayectoria deseada. En este caso, las especies arbóreas semi-tolerantes o tolerantes pueden ser propicias. Cuando las condiciones estructurales del ecosistema lo permitan, es posible establecer otras formas de vida, como helechos, enredaderas y epífitas.

En caso de zonas con alto grado de invasión de especies exóticas, se sugiere el control de malezas pre y post plantación. También se recomienda la aplicación de fertilizante o compost para que la planta logre un mayor desarrollo en menor tiempo. La aplicación de riego puede ser una opción en condiciones donde el régimen hídrico del suelo ha sido afectado por factores locales o climáticos y se sugiere por un tiempo determinado hasta que las especies estén bien establecidas.

DISEÑO ESPACIAL DE INTERVENCIONES

A medida que aumenta la extensión del área degradada, es posible que aumente la variabilidad de condiciones ambientales del lugar (topografía, exposición, altitud), lo cual puede implicar una combinación de las aproximaciones a utilizar. Dentro de un mismo plan, en algunas áreas puede ser conveniente la regeneración natural, mientras que en otras la reconstrucción. En el caso de que se requiera reconstruir completamente o aplicar regeneración asistida de un ecosistema boscoso, es necesario diseñar el arreglo espacial que determinará la distribución de las plantas a establecer. Es importante considerar que el patrón espacial es producto de las interacciones entre las especies y entre éstas y el ambiente físico, lo cual refleja la dinámica del ecosistema que se intenta replicar en el área a restaurar.

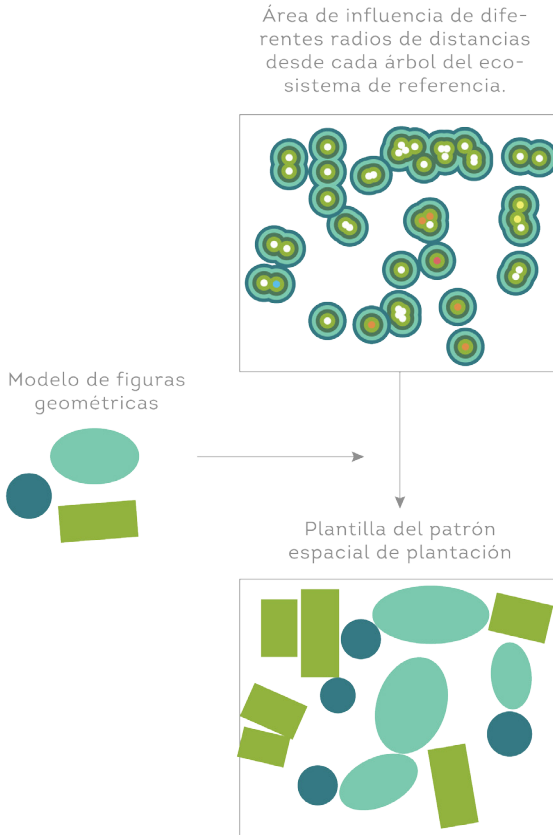
El diseño de la plantación se hace en base a la estructura o patrón espacial horizontal caracterizada en los sitios del ecosistema referencia, y no siguiendo una distribución regular equidistante (Figura 7). Se sugiere describir el patrón espacial en base a parcelas de 1 hectárea cada una. Mientras más sitios sean caracterizados, de mejor forma se captura la variabilidad natural del modelo de referencia.

Mediante test estadísticos se analiza la estructura horizontal para saber si los individuos del estrato arbóreo superior del ecosistema de referencia se agrupan o se distribuyen aleatoriamente. En caso de que los resultados estadísticos revelen que los árboles están agrupados, se determina la distancia a la cual forman grupos o *cluster*. Luego, a partir de esta distancia de agrupamiento, se genera un área de influencia alrededor de cada individuo en un sistema de información geográfica o a través de paquetes estadísticos. A partir del mapa de áreas de influencia se construye una plantilla, que contiene las figuras geométricas simples de diferentes dimensiones que representen los *cluster* de árboles. Estas figuras pueden ser circunferencias, cuadrados, rectángulo y elipses y son las que luego serán proyectadas en el área a restaurar. La localización de *cluster* de árboles en terreno se hace usando GPS de alta precisión y posicionando una estaca en el centroide de cada figura. Cada *cluster* se codifica con información sobre la cantidad de plantas por especie a establecer, dimensiones del *cluster* y orientación.

Es posible que la ubicación y dimensiones de los *cluster* se vea interrumpida por la presencia de elementos propios y naturales del lugar (troncos, rocas, cuerpos de agua). Si esto ocurre, se debería intentar mantener el arreglo espacial general del ecosistema de referencia y usar aquellos *cluster* que sólo pueden ser implementados cautelando sus dimensiones y distancia con otros *cluster*. En lugares donde se busca restaurar áreas de extensión inferior a la plantilla de 1 hectárea, se pueden seleccionar aquellos *cluster* que mejor se ajustan a los espacios o claros disponibles en el área a restaurar, cautelando la orientación y dimensión de los *cluster*. Es importante considerar que lo que se busca replicar del ecosistema de referencia no son sólo los grupos de árboles, sino, además, los claros o espacios vacíos y los individuos aislados.

FIGURA 7

Procedimiento para diseñar el patrón o arreglo espacial de una plantación de especies vegetales arbóreas en el marco de un plan de restauración ecológica.



Nota: El centroide de cada figura geométrica de la plantilla de plantación se posiciona mediante GPS en terreno.

El número de plantas a utilizar se calcula en base a tres tipos de información (Figura 8). Primero se deben seleccionar las especies a utilizar en base a las aproximaciones de restauración ecológica, las que, a su vez, están determinadas por el ecosistema de referencia y la línea base del área degradada. En segundo lugar, esta última línea base es utilizada para zonificar y cuantificar la superficie de las diferentes condiciones físicas y bióticas existentes en el área a restaurar; por ejemplo, afloramiento rocoso, profundidad del espacio arraigable, humedad del suelo, remanentes de vegetación, exposición, pendiente, sendero o caminos, entre otras variables. En tercer lugar, se considera la plantilla del diseño espacial de la plantación (proveniente del mapa de fustes del ecosistema de referencia), la cual contiene la distribución espacial de los *cluster*. A partir de la integración de las tres fuentes de información, de manera espacialmente explícita, se calcula el número de plantas a establecer por cada tipo de *cluster* y por cada tipo de zona. El total de plantas a ocupar por especie es la sumatoria de todos los *cluster* a instalar en el área a restaurar. Esta información puede ser llevada a una unidad espacial conocida como la hectárea para facilitar la comprensión y participación de las partes interesadas.

FIGURA 8

Procedimiento utilizado para estimar el número de plantas a establecer en un plan de restauración ecológica de bosques.



ADQUISICIÓN DE PLANTAS

Una vez determinado el total de plantas a instalar en el área de restauración se sugiere iniciar las gestiones lo más pronto posible para la adquisición de las plantas a utilizar. La disponibilidad de material vegetal en términos del número de plantas por especie, procedencia y estado de desarrollo de ellas suelen ser factores críticos para la ejecución de un plan de restauración ecológica. La reserva, compra y despacho de plantas debería al menos considerar:

- Época de cosecha de semillas
- Variabilidad climática interanual que afecta la germinación y desarrollo de plantas
- Tiempo requerido de cada especie para alcanzar el estado de desarrollo para su uso con fines de restauración ecológica
- Procedencia del material vegetal utilizado en el vivero
- Grado de variabilidad y estructuración genética de las especies, especialmente las amenazadas con distribución restringida y sometida a fragmentación de hábitat
- Variación estacional a lo largo de gradientes longitudinales y latitudinales (inicio de temporada de lluvia, nieve y heladas define la temporada de plantación y, por ende, despacho desde viveros)
- Monitoreo del estado de desarrollo de las plantas en vivero desde la reserva hasta el antes del despacho

DISEÑO DEL PROGRAMA DE MONITOREO

En la etapa de diseño se debe desarrollar un programa de monitoreo con los indicadores ecológicos y sociales a medir. Es muy probable que diferentes profesionales o técnicos midan los indicadores a lo largo de los años, por lo que se recomienda que el programa de monitoreo sea un documento auto explicativo. Dicho programa debería explicitar el propósito que se persigue con cada indicador, la forma de recolección y almacenamiento (con respaldo) de los datos, aclaraciones sobre eventuales desviaciones, omisiones o errores ocurridos y estar disponible en el tiempo para los/las profesionales que asuman esta labor.

Un programa de monitoreo de restauración ecológica de bosques mediterráneos y templados en Chile debería durar al menos cinco años, idealmente 10, para tener información útil para la etapa de evaluación. El inicio de un programa de monitoreo suele ser después de la etapa de implementación, pero su diseño es en la etapa de diseño del plan de restauración. La línea base levantada del ecosistema degradado es fundamental para contrastar los resultados del programa de monitoreo en la etapa de evaluación.

Existen diversos indicadores ecológicos y sociales para evaluar el éxito de la restauración ecológica. Aquí se presentan los indicadores más usados a nivel mundial, los recomendados por los Estándares y aquellos aplicados en proyectos dirigidos por los autores del presente libro (Tabla 3).

TABLA 3

Listado de indicadores ecológicos y sociales de evaluación de éxito de restauración ecológica en bosques

ATRIBUTO CLAVE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
Ecológico	Condiciones físicas y químicas del sustrato	Contenido de nutrientes Carbono orgánico pH Densidad aparente Contenido de materia orgánica Humedad del suelo Cationes disponibles Capacidad de retención de agua
	Composición de especies	Riqueza y abundancia de árboles remanentes y plantados Riqueza y abundancia de arbustos remanentes y plantados Proporción de especies nativas y exóticas Categoría de estado sucesional de especies Índices de diversidad Riqueza por formas de vida (herbáceas, epifitas, helechos, arbustos y árboles) Índices de similitud
	Diversidad estructural	Rango de altura de árboles dominante Diversidad de crecimiento en altura Diversidad de diámetro a la altura del pecho de especies plantadas y regeneradas Diversidad del diámetro del cuello de especies plantadas Cobertura de copas Cobertura de suelo Índice de mezcla horizontal de especies
	Funciones ecosistémicas	Regeneración Biomasa de hojarasca Diversidad funcional Dinámica de disturbios naturales

ATRIBUTO CLAVE	DESCRIPCIÓN	INDICADOR
Social	Involucramiento de actores	<p>Número de actores involucrados</p> <p>Grado de independencia en las prácticas de manejo ecosistémico</p> <p>Número de convenios o acuerdos establecidos</p> <p>Grado de empoderamiento social</p>
	Bienestar humano	<p>Beneficios por sentido de pertenencia</p> <p>Retorno de los servicios ecosistémicos, incluyendo recreación</p> <p>Beneficios por vínculos sociales</p>
	Enriquecimiento del conocimiento	<p>Grado de uso de conocimiento relevante</p> <p>Grado de retroalimentación y opinión de actores locales</p> <p>Grado de difusión de resultados</p>
	Capital natural	<p>Grado de impacto en carbono</p> <p>Grado de protección de ecosistemas naturales</p> <p>Grado de manejo de sistemas terrestres y acuáticos</p>
	Distribución de beneficios	<p>Beneficios para población local</p> <p>Grado de integración de elementos culturales tradicionales e indígenas</p> <p>Grado de contribución a la reconciliación y justicia social</p> <p>Grado de oportunidades equitativas para la población local</p>

ANÁLISIS DE LOGÍSTICA

En la etapa de diseño se deben abordar las limitantes prácticas para la ejecución de un plan de restauración. Una de ellas es evaluar la disponibilidad de recursos financieros y humanos para las diferentes etapas del plan. Es absolutamente necesario establecer algún tipo de acuerdo o convenio formal entre quienes aportan los recursos financieros y los ejecutores del plan, como así también, entre los propietarios del área a restaurar y los ejecutores. Se debe dejar establecido el mecanismo de autorización de acceso de parte de los propietarios hacia los ejecutores del plan y sus contratistas y, en caso de que sea necesario, contar con permisos legales o autorización formal de la autoridad competente para realizar las intervenciones en el lugar. Esto es especialmente sensible cuando existen especies en categoría de conservación protegidas por ley.

Es recomendable evaluar el nivel de competencias técnicas de los profesionales a cargo de las etapas, y cautelar la equidad de género. De igual forma, se sugiere llevar a cabo una evaluación de los diferentes riesgos que pueden surgir en cada etapa y disponer de un plan de contingencia. Aquí es clave identificar los posibles factores sociales, económicos, culturales o políticos que pueden afectar el compromiso de largo plazo de los propietarios y del financiamiento. De igual forma, se recomienda tener presente las amenazas externas que pueden comprometer los esfuerzos de restauración ecológica. De nada sirve invertir tiempo, recursos económicos no menores y capacidades profesionales calificadas y escasas para que un incendio forestal lo destruya todo en pocos minutos.

ETAPA 3

Planificación del plan de restauración ecológica

En esta etapa se programan las diferentes actividades, faenas u operaciones que se ejecutarán en las etapas de implementación, monitoreo y evaluación. Es útil desarrollar un cronograma o tabla Gantt del plan, incluyendo las fechas de cumplimiento de los hitos que se hayan definido con las contrapartes.

Se recomienda considerar la estacionalidad climática al momento de planificar aquellas actividades del plan que se ejecutan en terreno. Algunas de ellas,

como la plantación y faenas de preparación de sitio, deben ser hechas bajo ciertas condiciones climáticas.

ETAPA 4

Implementación del plan de restauración ecológica

Una de las primeras acciones a realizar es el control de las amenazas. Por lo general, se recomienda reforzar o instalar un cerco perimetral del área a restaurar para evitar el acceso de herbívoros y personas. Se sugiere realizar visitas para identificar puntos críticos de cierre y acceso. Informar a vecinos o partes interesadas de la fecha de inicio de la implementación.

Las técnicas de habilitación son diversas y varían según las condiciones actuales. En el caso de presencia de especies vegetales exóticas, se debería primero aplicar un roce manual o mecanizado. Luego el retiro del fuste de mayor diámetro y triturado de ramas y fustes de menor diámetro. Si no hay presencia de especies exóticas y la condición del suelo es degradada, se debería aplicar las faenas de mejoramiento como arado o subsolado. En el caso de iniciar la recuperación en sitios de plantaciones de especies exóticas cosechadas, se sugiere el retiro o triturado de los desechos.

En el caso que se haya optado por la regeneración activa o reconstrucción de un ecosistema degradado con un diseño espacial basado en un modelo de referencia, la ejecución de la plantación de especies vegetales debe considerar una serie de actividades bien sincronizadas. La primera de ella es la distribución de los *cluster* de plantación. Para ello se debe:

- **Disponer** de una cartografía digital del área a restaurar con la zonificación de condiciones ambientales (en unidades codificadas de rodales, sitios o zonas)
- **Disponer** de una copia impresa y digital georreferenciada de la plantilla de los *cluster* de plantación con su respectiva codificación
- **Realizar** una evaluación a priori de las condiciones in-situ del área a plantar para observar la presencia de árboles caídos, u otros elementos que alteren la plantilla

- **Marcar y georreferenciar** individuos de especies amenazadas.
- **Establecer** estacas en el centroide de cada *cluster* y algunas referencias en los bordes como banderillas de color.

Una vez implementados los *cluster* de plantación, se debe ejecutar la plantación de manera ordenada y coordinada:

- **Trasladar** las plantas dentro de cada *cluster* correspondiente
- **Distribuir** las plantas dentro de cada *cluster* siguiendo requerimientos ecológicos específicos de cada especie por profesionales calificados
- **Ejecutar** la plantación con un número de plantadores por cuadrilla que asegure el rendimiento y evite daños por pisoteo a las plantas
- **Evaluar** la calidad de plantación
- **Registrar** cambios mayores que hayan ocurrido en la localización de los *cluster*

ETAPA 5

Monitoreo del plan de restauración ecológica

Posterior a la implementación comienza a ejecutarse el programa de monitoreo del plan, el cual permite generar la información necesaria para evaluar el grado de cumplimiento de las metas y objetivos. Se monitorea el progreso del plan en el tiempo, bajo un enfoque de manejo adaptativo y con recursos financieros asignados.

Los profesionales a cargo del plan deben tener presente que el monitoreo es esencial para determinar el éxito de la restauración ecológica y el momento en que el ecosistema es autosustentable y no requiere una mayor asistencia. Así también, el monitoreo provee información útil para el aprendizaje de las acciones que se realizan y los ajustes que se requieran.

El monitoreo debe contar con un sistema de almacenamiento y respaldo de los datos que se reúnen durante los muestreos. El registro de la información digital debe seguir protocolos de estandarización de datos y pasar por procesos de depuración interna antes de ser almacenada.

Durante el monitoreo se miden los indicadores ecológicos y sociales que se hayan seleccionado durante la etapa de diseño del plan. Los métodos de muestreo a emplear deben ser simples y fáciles de usar, de tal manera de optimizar los recursos financieros y humanos.

Para el caso de indicadores ecológicos, se recomienda la instalación de parcelas de muestreo para su posterior análisis estadístico. Las dimensiones y forma de las parcelas que se pueden emplear son diversas, siendo las más comunes las de 500 m² rectangulares para restauración de bosques, especialmente cuando se busca un seguimiento permanente de ciertas variables (por ejemplo, tasa de crecimiento a nivel de árbol individual). Parcelas temporales también pueden ser usadas para medir variables que representen la situación general, como tasa de sobrevivencia y riqueza total de especies, entre otras.

En el caso de plantación de especies nativas, además de los indicadores mencionados en la etapa de diseño del programa de monitoreo, se sugiere medir regularmente la sobrevivencia y crecimiento de las especies plantadas durante el periodo de monitoreo. En cuanto a los indicadores sociales, se sugiere usar encuestas, entrevistas o talleres con los actores involucrados. Es importante apoyarse con especialistas del área social como antropólogos o sociólogos ambientales.

ETAPA 6

Evaluación del plan de restauración ecológica

Esta etapa busca evaluar el progreso de un ecosistema a lo largo de la trayectoria de recuperación. Se usan los resultados del monitoreo para evaluar y documentar la efectividad de los tratamientos cada cierto periodo de tiempo. Se aplica un marco conceptual basado en la interpretación de información cuantitativa reunida a partir de los indicadores de monitoreo respecto a un modelo de referencia. Es esencial que las personas que dirigen el plan, así como también las partes interesadas, puedan interpretar por ellos mismos los resultados de la evaluación para dimensionar el grado de recuperación. Durante la evaluación del plan es recomendable preguntarse lo siguiente:

- ¿Cuál es la tasa de supervivencia y crecimiento de las especies establecidas?
- ¿Los agentes de disturbio antrópico están controlados?
- ¿Las especies amenazadas están siendo atendidas?
- ¿Existe conocimiento suficiente para cumplir las metas y objetivos planteados?
- ¿Cuál es el grado de incertidumbre de los recursos financieros y humanos, y de compromiso de los propietarios?
- ¿Qué variables o acciones deben ser modificadas?
- ¿Existe participación de actores locales?
- ¿Ha habido un impacto social positivo?
- ¿Ha habido un impacto neto positivo en la biodiversidad local?
- ¿Se visualiza una relación positiva costo/beneficio?

Los estándares de la SER recomiendan aplicar la rueda de la recuperación y la rueda de beneficios sociales para saber hasta qué punto el plan de restauración ecológica se acerca a las metas y objetivos (Figura 9). Estas ruedas son una herramienta útil para ilustrar el grado de recuperación de atributos ecológicos y sociales respecto a un modelo de referencia. Es posible también utilizar gráficos radiales o herramientas estadísticas que permitan la comparación entre la condición original o pre-restaurada, intervenida o en proceso de recuperación y el modelo de referencia que es la condición objetivo.

La evaluación consiste en la elaboración de un documento o informe el cual contiene el programa de monitoreo, los resultados de las mediciones y la evaluación de éxito. El documento debe contener cierto grado de formalidad y estandarización para su comparación a través del tiempo. En el caso de iniciativas o proyectos de restauración ecológicas ejecutados en bosques mediterráneos y templados, se puede realizar una evaluación cada año al final del periodo de crecimiento de las plantas.

Los resultados de evaluación deben ser vistos desde un enfoque de manejo adaptativo, es decir, desde una mirada sistemática de lecciones para el aprendizaje y así mejorar los tratamientos o aproximaciones aplicadas. Por lo general, no existen recomendaciones únicas de cómo hacer la restauración ecológica de bosques degradados ni cuándo se considera completa la restauración. El ecosistema que ha estado bajo restauración ecológica debería llegar a sostenerse a sí mismo, funcionalmente recuperado, y ser resiliente a rangos naturales de perturbaciones ambientales.

Se recomienda proporcionar pruebas o evidencias para que las partes interesadas perciban los cambios ocurridos en el ecosistema. Una secuencia temporal de fotografías de un mismo lugar, antes y después de las intervenciones, es muy útil para proveer evidencia de los impactos ecológicos de la restauración y que las metas y objetivos se están cumpliendo. Estas evidencias pueden generarse a diferentes escalas temporales y espaciales. Por ejemplo, fotografías áreas tomadas por un dron o imágenes de *Google Earth* pueden servir para mostrar cambios cuando un plan abarca una cierta extensión espacial que puede apreciarse desde el aire a una escala de paisaje. Cuando estos cambios ocurren a grandes extensiones y muy rápido, imágenes y fotogrametría apoyada por drones puede ser muy útil para ilustrar cambios. Cuando se desea documentar cambios más puntuales o a escala de sitio, se pueden establecer puntos fijos mediante estacas de madera impregnada pintadas con colores llamativos y muy bien instaladas. Sobre éstas, se puede adosar en la parte superior un tipo de reloj con cuatro agujas que representen los puntos cardinales norte, sur, este y oeste. Las fotografías temporales se toman siguiendo los cuatro rumbos desde la ubicación de la estaca.

FIGURA 9

Ejemplos de rueda de recuperación ecológica y de beneficios sociales



En los próximos capítulos se mostrarán los resultados y avances en los tratamientos aplicados e investigaciones realizadas a lo largo de una década de la restauración ecológica de ecosistemas invadidos en Nonguén.



©Fotografía de C. Echeverría.





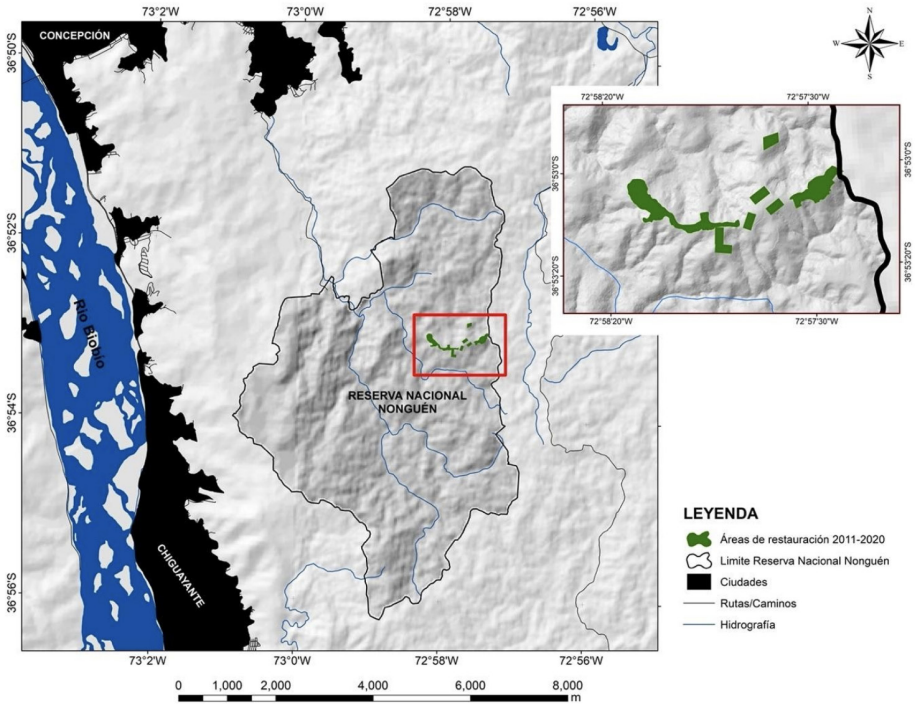
PARTE II

CAPÍTULO 5

Historia, disturbios y biodiversidad en el Parque Nacional Nonguén

FIGURA 10

Ubicación de las áreas de restauración ecológica entre 2011 y 2020 al interior del Parque Nacional Nonguén en la Costa de la Región del Biobío, Chile^a



^a Elaborado por Rodrigo Fuentes y Diego Muñoz. Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP). Universidad de Concepción.

El Parque Nacional Nonguén está ubicada en la Región del Biobío, en la cabecera de la cuenca del estero Nonguén, tributario del río Andalién (678848 E 5916969 S). Es parte del territorio de las comunas de Chiguayante y Hualqui por el norte y Concepción por el este (Figura 10). Por el oeste se encuentra rodeada por la presencia de plantaciones forestales de especies exóticas y un entorno urbano donde residen más de 800 mil personas. Su privilegiada localización asociada a los recursos naturales que cobija, le otorgan un enorme potencial para actividades como el ecoturismo, la educación ambiental y la investigación.

El Parque es considerada el mayor fragmento de bosque nativo existente en toda la Provincia de Concepción, inserto en un paisaje circundante de alta fragmentación con predominio de plantaciones. Dicho ecosistema constituye un refugio para especies de vertebrados, algunas de ellas en precario estado de conservación. El Parque posee una alta importancia para la producción hídrica, al protegerse en ella la cabecera de cuenca.

Antes de ser declarada Reserva se conocía como Fundo Nonguén o Predio Nonguén, propiedad de la Empresa de Servicios Sanitarios del Biobío S.A (ESSBIO). A fines de los años 90 a través de una campaña promovida por el Comité Nacional Pro Defensa de la Flora y Fauna (CODEFF), fue declarado Santuario de la Naturaleza, dada la importancia de su biodiversidad y cobertura boscosa para proteger la producción de agua potable a las ciudades de Penco y Lirquén. Posteriormente, la propiedad en el año 2000 pasa a la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)⁷. En el desarrollo de la “Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad de la Región del Biobío” liderada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y realizada participativamente durante el año 2002, se priorizó dentro de más de 70 sitios seleccionados a nivel regional, al Fundo Nonguén entre los cinco sitios de mayor relevancia para la conservación de la biodiversidad en la Región del Biobío con el fin de ser protegidos a corto plazo.

El Gobierno Regional por iniciativa propia se interesó en el predio con el objeto de establecer en él alguna modalidad de gestión regional, que, con-

servando los recursos allí presentes, permitiera el desarrollo de iniciativas productivas por parte de privados y que generaran a lo menos los recursos financieros necesarios para su administración. Apuntando a lo anterior y con el fin de excluir de la privatización de ESSBIO del predio Nonguén, la CORFO se constituye en su propietario mediante la suscripción de una escritura de Devolución de Capital con Dación en Pago, realizada con ESSBIO en junio del año 2000. Siguiendo la mencionada orientación, el Consejo Directivo de CORFO autorizó, en enero de 2002, su donación al Fisco de modo que posteriormente el Ministerio de Bienes Nacionales pudiera realizar el traspaso del dominio al Gobierno Regional, lo que no se concretó, debiendo asumir CORFO, aún contra su voluntad, la administración del predio.

A partir de un seminario realizado por la CONAMA en septiembre de 2003, sobre la conservación de Nonguén y tomando en cuenta las demandas de organizaciones de base, académicas y ambientalistas, la Comisión Pública asumió el compromiso de ampliar la participación ciudadana organizando talleres de difusión. Se desarrolló un proceso de planificación participativo que concluyó en una propuesta de Plan de Manejo para Nonguén. De esta forma se llega al conceso de que la figura de protección legal que mejor se acomodaba a la protección era la de Reserva Nacional. Para ello se requería la inscripción del dominio del predio a nombre del fisco y su posterior traspaso a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) como ente administrador. Se acordó definir un modelo de gestión de dicho territorio que considere la participación de los actores interesados. Los canales de participación establecidos por la Comisión Pública fueron focalizados hacia los propietarios colindantes (empresas y personas naturales), el sector público y académico y hacia la comunidad (ONGs ambientalistas y organizaciones territoriales). La formulación de la propuesta de Plan de Manejo para la Reserva Nacional Nonguén, cuya coordinación técnica le correspondió a CONAF, establece objetivos de manejo, una zonificación de su territorio y una propuesta preliminar de programas de manejo.

A fines de noviembre de 2005 se firmaron dos protocolos de acuerdo para la creación de la Reserva Nacional Nonguén. El primero de ellos se suscribió entre el intendente regional, vicepresidente ejecutivo de CORFO, director

ejecutivo de CONAF y seremi de Bienes Nacionales de la Región del Biobío; adquiriendo los firmantes el compromiso de crear esta unidad, para lo cual CORFO “debe donar el predio al Fisco y aportar hasta la suma de 25.600 UF, para los tres primeros años de operación de esta Reserva”. Por su parte, CONAF se comprometió a asumir la administración, cuidado y gestión de esta área silvestre. En el segundo Protocolo de Acuerdo participó el intendente regional, el director ejecutivo de CONAF, la seremi de Bienes Nacionales de la Región del Biobío, y el director regional de CONAMA de la Región del Biobío, más tres representantes de la comunidad organizada, en el cual además de ratificar los acuerdos del Protocolo ya mencionado en primer lugar, los firmantes se comprometieron a aunar esfuerzos para que una vez cumplido el plazo de tres años (durante los cuales se contará con aportes de CORFO), los montos necesarios para la operación y manejo de la unidad sean incluidos en el presupuesto de CONAF.

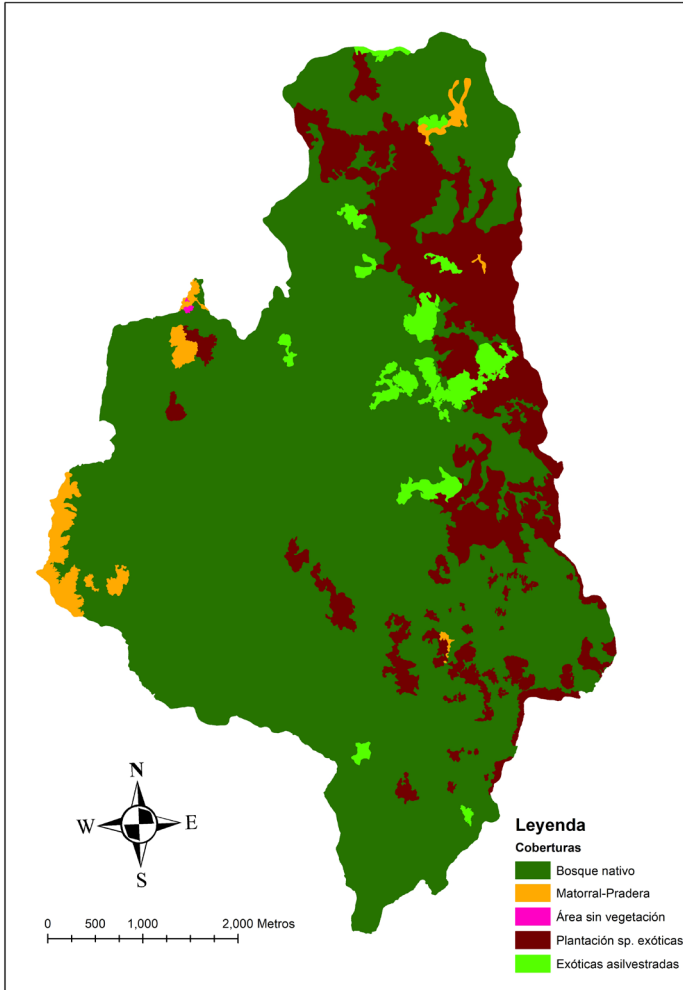
Con posterioridad a la firma de los protocolos, CORFO oficializó ante Bienes Nacionales la donación del predio, lo que llevó a que la Subsecretaría de Bienes Nacionales, mediante el Oficio N° 000083 del 11 de octubre del 2007, solicitara a la subsecretaria de Hacienda la autorización para aceptar la donación del Fundo Nonguén de propiedad de CORFO, al Fisco de Chile, lo que fue respondido favorablemente por Hacienda el 15 de enero del 2008.

Paralelamente, CONAF Región del Biobío preparó y despachó en mayo de 2008 el Informe Técnico Justificatorio necesario para la creación de esta área protegida, el que fue despachado al Ministerio de Bienes Nacionales. En base a dicha documentación se emitió el DS 132, con fecha 30 de diciembre del 2009, que creó la Reserva Nacional Nonguén. Al ser publicado en el Diario Oficial el 24 de diciembre de 2010, se oficializa la creación de esta área protegida.

En el año 2010 el Fundo Nonguén pasa a ser parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), como Reserva Nacional Nonguén (RNN) abarcando una superficie aproximada de 3.055 hectáreas. Finalmente, en julio del 2021 la Reserva es decretada como Parque Nacional Nonguén. (Figura 11)

FIGURA 11

Usos y coberturas del suelo en el Parque Nacional Nonguén.^b



^b Elaborado por Rodrigo Fuentes y Diego Muñoz. Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP). Universidad de Concepción.

DISTURBIOS

A lo largo del tiempo, la superficie correspondiente al Parque Nacional Nonguén se ha visto afectada por diferentes disturbios los cuales han generado una degradación del ecosistema en distintas zonas del Parque. Los principales disturbios han sido los incendios a gran escala, la tala de árboles (nativos y productivos) y la invasión de especies exóticas como *Acacia dealbata* (aromo chileno), *A. melanoxylon* (aromo australiano), *Pinus radiata* (pino) y *Eucalyptus sp* (eucalipto).

Hace más de 100 años, la composición arbórea del Parque Nacional Nonguén ya presentaba en su interior pequeñas plantaciones de pino y eucalipto. Durante el año 1996, las plantaciones de aproximadamente 70 años fueron vendidas a una empresa forestal, la cual habilitó caminos forestales para trasladar el producto maderero. Posterior a la extracción de madera, la superficie intervenida fue reforestada con las mismas especies exóticas. La presencia de monocultivos y la creación de caminos generó una fragmentación del hábitat y facilitó la dispersión y el establecimiento de semillas de especies no deseadas hacia más zonas del Parque.

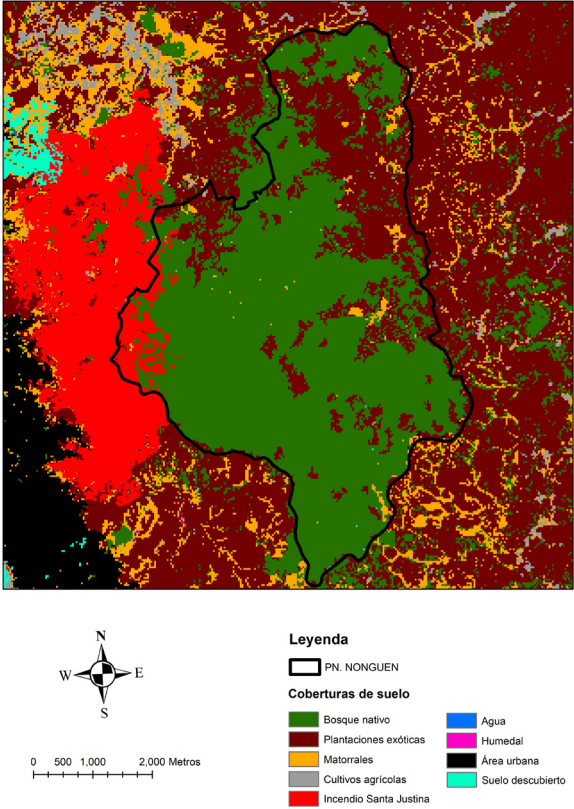
En el año 1999 un mega incendio afectó el bosque nativo del entonces Fundo Nonguén, con un fuerte impacto en la biodiversidad. Actores locales^c de la zona que tuvieron conocimiento del mega incendio relatan que éste comenzó en la comuna de Hualqui y terminó en la comuna de Florida, afectando alrededor de 600 hectáreas de bosque nativo y especies exóticas en el sector este del Fundo Nonguén. Después del incendio se instalaron aserraderos portátiles en distintos puntos, con el objetivo de aprovechar la madera que quedó.

^c Información entregada por Leonardo Araneda, administrador del Parque Nacional Nonguén, nacido y criado en los alrededores del Parque.

Después de ser declarado como Reserva Nacional, hay registro de dos incendios en Nonguén. El primero en el año 2009 y el segundo en el verano del 2020, ambos originados en la comuna de Chiguayante. Este último afectó una superficie aproximada de 80 hectáreas en el sector noroeste del Parque, cercano al bosque nativo con presencia de pitao (*Pitavia punctata*) (Figura 12).

FIGURA 12

Coberturas y usos del suelo e incendio ocurrido en el verano del 2020 que afectó parte del Parque Nacional Nonguén.^d



^d Elaborado por Rodrigo Fuentes y Diego Muñoz. Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP). Universidad de Concepción.

DISTURBIO

Evento discreto y externo que altera un ecosistema, comunidad o población, que cambia la disponibilidad de recursos y el medio ambiente físico⁸.

DISTURBIOS DE ORIGEN ANTRÓPICO

Disturbio causado por la participación directa del ser humano tales como: incendios, pastoreo, extracción de madera o leña.

ESPECIE INVASORA

Especies naturalizadas que se reproducen en grandes cantidades y que tienen potencial de propagarse en un área considerable ocupando hábitats naturales.

INVASIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS

Fenómeno en que una especie expande su rango geográfico de distribución, ocupando regiones en que previamente no se encontraba. Este proceso considera cuatro etapas; transporte de semillas, su introducción, posterior establecimiento y propagación de la especie llegando a ser altamente abundante,^{9, 10, 11}

CONSECUENCIAS DE LA INVASIÓN DE ESPECIES

- i) desplazamiento de especies nativas
- ii) hibridación y contaminación genética
- iii) alteraciones de las redes de interacción entre especies de la comunidad
- iv) alteración de las condiciones del ecosistema nativo

La ocurrencia de incendios y la habilitación de caminos en zonas prístinas, aumentó la dispersión de semillas de especies como pino, eucaliptus y aroma. Actualmente, esta última especie, por su fuerte capacidad invasiva se ha establecido en aproximadamente 105,89 ha del Parque, conllevando a una fragmentación del bosque nativo y a una disminución en la diversidad de la vegetación nativa, reduciendo su hábitat natural. El aroma chileno y el aroma australiano, ambas especies exóticas, se caracterizan por presentar una alta producción de semillas y fuerte capacidad de rebrote. La erradicación de estas especies es aún considerada un trabajo difícil.

BIODIVERSIDAD DEL PARQUE NACIONAL NONGUÉN

El bosque nativo del Parque corresponde a un bosque caducifolio con alrededor de 2.100 hectáreas, caracterizado por desarrollarse en un clima de tipo mediterráneo. En términos generales la vegetación nativa corresponde a un bosque de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) caracterizado por la presencia en mayor o menor grado de especies arbóreas características del bosque esclerófilo y bosque laurifolio o valdiviano.

El bosque se caracteriza por la especie caducifolia roble coexistiendo con especies arbóreas siempreverde correspondiente a especies esclerófilas como *Cryptocarya alba* (Molina) Looser (peumo), *Persea lingue* (Ruiz & Pav.) Nees (lingue) y *Lithrea caustica* (Molina) Hook. & Arn. (litre). El fondo de las quebradas está dominado por *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. (coigüe) y especies arbóreas más hidrófilas como *Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav.) Tul. (laurel), *Podocarpus saligna* D. Don (mañío de hoja larga) y *Amomyrtus luma* (Molina) D. Legrand & Kausel (luma) entre otras. El estrato arbustivo está dominado generalmente por *Chusquea quila* Kunth (quila), la cual en algunos sectores puede ser muy densa.

La vegetación del Parque se vuelve aún más especial ya que cuenta con varias especies en categoría de conservación, como *Berberis negeriana* Tischler (michay araucano) (En Peligro), *Citronella mucronata* (Ruiz & Pav.) D. Don

(naranjillo) (Vulnerable) y *P. punctata* (pitao) (En Peligro). Esta última encontrada e identificada en la última década por los guardaparques.

El bosque presenta un clima templado cálido con lluvias invernales. La precipitación y temperatura media anual corresponden a 1.294 mm y a 13,1°C¹² respectivamente y la humedad relativa del aire presenta un régimen bastante estable durante todo el año, con un valor medio anual de 87% lo que contribuye a una marcada estacionalidad, cuya estación seca corresponde a enero y febrero¹³.

El Parque presenta una gran diversidad faunística con 106 especies⁷ compuesta por diversos taxones (artrópodos, peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos) y está relacionada estrechamente con la diversidad vegetal que existe, creando una alta diversidad de hábitat para la presencia de fauna. Específicamente, se encuentran especies que representan gran valor taxonómico y de conservación como *Aegla conceptionensis*, *Rhinoderma darwinii* y *R. ruffum* (anfibios), *Abrothrix longipillis* y *Olygorizomis longicaudatus* (micromamíferos), *Pseudalopex culpeus*, *Pseudalopex griseus* y *Pudu puda* (meso mamíferos) y en estudios más recientes se ha registrado a *Leopardus guigna* (güiña).¹⁴

MICHAY ARAUCANO

Berberis negeriana



Categoría de conservación:

En peligro (EN).

Distribución:

Región del Biobío, Provincia de Concepción.

Características:

Arbusto siempreverde, hojas lustrosas fuertemente aserradas con dientes espinosos.

Dimensiones:

Hasta 1 m de altura.

Época:

Florece desde fines de primavera y durante el verano.

PITAO

Pitavia punctata



Categoría de conservación:

En peligro (EN).

Distribución:

Zona costera de la Región del Maule y la Araucanía.

Características:

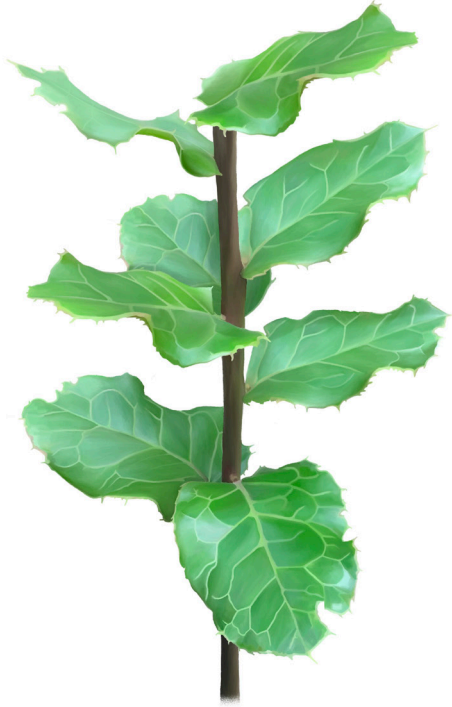
Árbol siempreverde, con follaje denso y aromático.

Dimensiones:

Puede alcanzar 15 m de altura y 40 a 50 cm de diámetro.

NARANJILLO O HUILLIPATAGUA

Citronella mucronata



Categoría de conservación:

Vulnerable (VU).

Distribución:

Cordillera de los Andes y de la Costa, desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Los Lagos.

Características:

Árbol siempreverde. Sus hojas son espino-dentado en árboles jóvenes y en árboles adultos son coriáceas, muy duras y de borde liso.

Dimensiones:

Hasta 20 m de altura.

CANGREJO TIGRE

Aegla conceptionensis



Categoría de conservación:

En peligro (EN).

Distribución:

Se encuentra sobre el borde sudoriental del Campus de la U. de Concepción y de los que bordean el camino entre Concepción y Chiguayante, la mayoría se han convertido en cursos de flujo esporádico. Investigadores del Centro de Cs. Ambientales EULA, reportaron su presencia en el estero Cárcamo, localizado al interior de los terrenos de la U. de Concepción.

Características:

Su color varía de acuerdo a las condiciones del sustrato, desde pardo verdoso en fondos de rocas blancas hasta verde o gris negro en fondos fangosos o de rocas oscuras, presenta dimorfismo sexual.

Dimensiones:

Alcanza al menos 33 mm de longitud de caparazón, incluyendo el rostro. El tamaño de los adultos no sobrepasa habitualmente los 60 mm de largo.

SAPO ROSADO

Eupsophus roseus



Categoría de conservación:

Vulnerable (VU).

Características:

Anfibio de tamaño grande, robusto, de cabeza redonda y ancha. Tímpano circular evidente. Patas gruesas con dedos libres. Piel lisa, porosa; tiene muy frecuentemente una estría clara mediana dorsal.

Dimensiones:

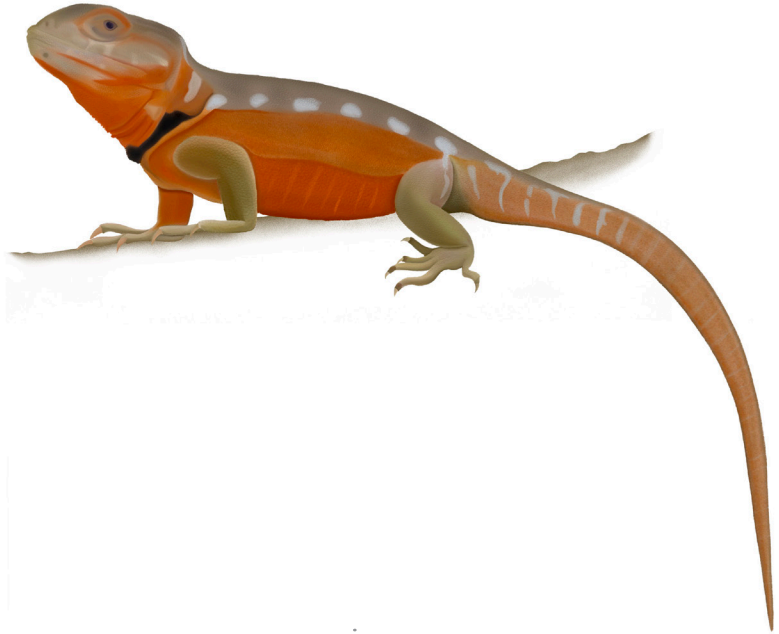
Mide hasta siete centímetros de longitud.

Distribución:

Su distribución contempla Valdivia, Región de Los Ríos; Isla Grande de Chiloé, Región de Los Lagos; y Región de Aysén. Su preferencia de hábitat es bajo troncos cercanos a aguadas y arroyos. Habitante de bosques húmedos entre la hojarasca y terrenos selváticos inundados.

LAGARTO DE CORBATA

Pristidactylus torquatus



Categoría de conservación:

Vulnerable (VU).

Características:

Reptil de aspecto robusto, con cabeza maciza y voluminosa. Patrón de coloración con notable dimorfismo sexual.

Macho: Ancha banda negra en la región gular.

Hembra: Color general café, con manchas más oscuras de forma de rombos en el centro, con bordes limitados de negro.

Dimensiones:

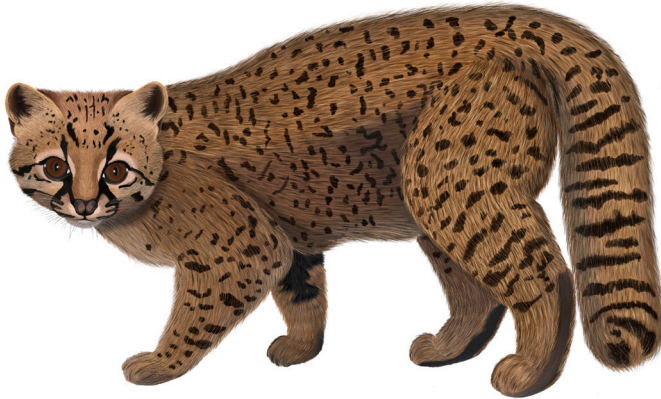
Su tamaño es entre 95 mm a 125 mm.

Distribución:

Desde Sierra de Bellavista (interior de San Fernando, Región de O'Higgins) hasta Valdivia (Región de Los Ríos).

GÜIÑA

Leopardus guigna



Categoría de conservación:

Vulnerable (VU).

Características:

Felino de pequeño tamaño. Tiene un pelaje denso, tupido y esponjoso. De color bayo leonado, con numerosas manchas redondeadas y oscuras que no cubren las manos y los pies. La cola es gruesa y presenta unos 10 a 12 anillos negros.

Peso:

Promedio de 1,8 a 2,5 kg.

Dimensiones:

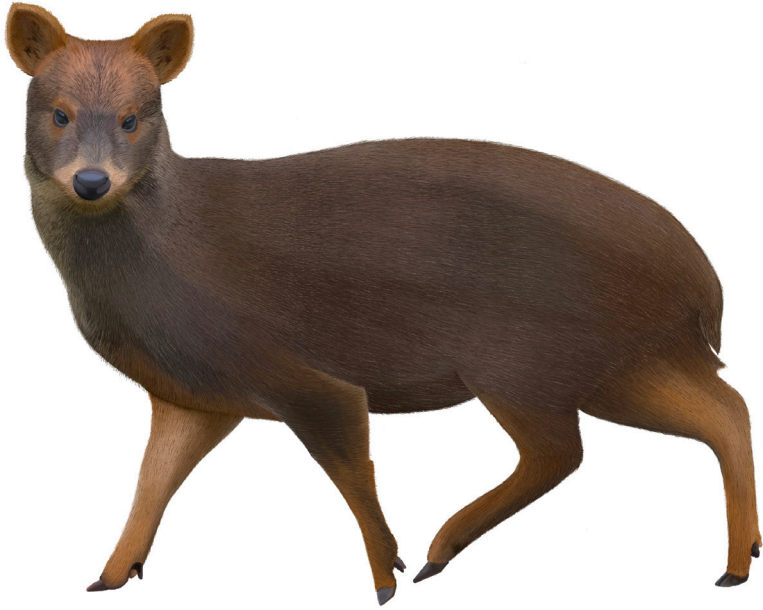
La longitud de su cabeza y cuerpo es de 58 a 64 cm de largo y la longitud de su cola es de 15 a 25 cm.

Distribución

Vive en Chile y Argentina. En Chile se distribuye desde Coquimbo hasta unos 70 km al sur de Cochrane (Aysén).

PUDÚ

Pudu pudu



Categoría de conservación:

Vulnerable (VU).

Características:

Es el ciervo más pequeño nativo de Chile (y de hecho, uno de los ciervos más pequeños del mundo). Posee un pelaje grueso y denso de color café rojizo oscuro. De cabeza y cuello cortos, orejas medianamente grandes y redondeadas, cola y extremidades cortas.

Dimensiones:

No supera los 40 cm de altura a la cruz, ni los 10 kg de peso.

Distribución

Vive sólo en Argentina y Chile. En Chile vive tanto en sectores cordilleros y precordilleranos de Los Andes y de la Costa, desde Curicó (Región del Maule) hasta Aysén. También vive en varias islas, incluyendo Isla Mocha y la Isla Grande de Chiloé.

CAPÍTULO 6

Origen de los trabajos de Restauración Ecológica en el Parque Nacional Nonguén. Una oportunidad transformada en realidad

Entre agosto de 2008 y julio de 2009 se evaluó dentro del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) el proyecto “Línea de Transmisión Eléctrica 2x220 Kv Charrua – Lagunillas y Obras Asociadas”, a través de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, por parte de su ejecutor, la empresa TRANSELEC S.A. Como es común en los proyectos de transmisión eléctrica, la evaluación de sus efectos sobre la componente de flora y vegetación, respecto de los cuales le corresponde a CONAF pronunciarse, es uno de los más relevantes. Lo anterior, en razón a que, para establecer una línea de transmisión eléctrica segura entre dos puntos, se debe despejar el material leñoso en altura existente en la respectiva faja, de modo de prevenir riesgos de interrupción del suministro o focos de incendios forestales a partir de arcos eléctricos. Esto necesariamente se traduce en la necesidad de cortar dicha vegetación, sea ésta bosque nativo o plantaciones con los impactos ambientales asociados.

TRANSELEC S.A., junto con cumplir en su propuesta con la exigencia de reponer los bosques cortados, ofreció reforestar 10 hectáreas adicionales con bosque nativo, lo que supera la norma legal vigente. Esta acción constituye una verdadera medida de compensación ambiental, las que de acuerdo con lo que establece el reglamento del SEIA *“tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar”*. Es importante resaltar lo anterior, dado que voluntariamente supera el mero cumplimiento de las exigencias legales, que es el comportamiento generalizado en estas situaciones, constituyéndose en una loable disposición excepcional.

En esos entonces Alberto Bordeau (autor del presente libro) en representación de CONAF Biobío, estaba a cargo de la evaluación ambiental de los proyectos de inversión sometidos al SEIA y le correspondió participar en la evaluación del mencionado proyecto. Éste culminó en la precisión del compromiso para esta compensación ambiental, según se refleja en la Res. ex. 174 que lo califica

favorablemente, estableciéndose que se realizaría en un lugar acordado con CONAF *“con el fin de enriquecer algún sector degradado, mejorar la composición de especies o su diversidad, ... de modo que dicha acción sea un aporte a la conservación de nuestros bosques nativos”*.

Coincidentemente en el tiempo, la creación de la Reserva Nacional Nonguén en diciembre del 2009, determinó que la CONAF asumiera su administración a principios de dicho año. El ejercicio de su administración efectiva por parte de la CONAF corroboró tempranamente que en la superficie de más de 3000 hectáreas, si bien se protegía el mayor fragmento de bosque nativo de toda la Provincia de Concepción, contenía igualmente importantes superficies invadidas por especies exóticas, principalmente aramo y retamilla y en menor proporción por pino y eucalipto. Por lo tanto, se identificó la necesidad de recuperar mediante acciones de restauración ecológica, tal como se señala expresamente en uno de los objetivos específicos del primer Plan de Manejo elaborado en el 2005.

Luego, en el 2010, TRANSELEC S.A., a través de Cristian Espinoza (autor del presente libro), se acercó a CONAF Biobío para explorar opciones de dónde cumplir con este compromiso ambiental y se les plantea la alternativa de ejecutarlo en la Reserva Nacional Nonguén. Dado que la compensación ambiental no tenía como requisito un área desarbolada, se permite desarrollar aquella restauración tan necesaria en la Reserva. La empresa acogió inmediatamente la propuesta al identificar la oportunidad que se le presentó, ya que, junto al cumplimiento de sus compromisos ambientales, pudo contribuir a la recuperación de una naciente área protegida. En consideración a sus competencias técnicas, inicialmente la empresa le propuso a CONAF asumir directamente la ejecución de este compromiso. Sin embargo, ello debió ser desechado, ya que, dado su carácter de ser el órgano del Estado con competencia ambiental en materias forestales, le correspondería luego el rol de verificar el cumplimiento de esta medida, lo que claramente generaba una incompetencia.

A partir de aquello es que CONAF sugirió contactar a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción donde se involucró decididamente al Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP), liderado por Cristian Echeve-

rría (autor del presente libro), que vio la posibilidad no sólo de colaborar en el cumplimiento de un compromiso ambiental, sino de además poder desarrollar ensayos de investigación en restauración ecológica que posteriormente puedan ser escalables tanto al interior del Parque como en otros ecosistemas de transición entre los bosques mediterráneos y templados del país.

Para su concreción y luego de un diagnóstico de la situación en el Parque, el LEP realizó una propuesta de sectores a restaurar, la que fue validada por los demás actores y que se encuentra dentro de la Zona de Recuperación Natural definida en el Plan de Manejo. Por lo tanto, está destinada a estos fines y en el detalle apunta a reducir la fragmentación del hábitat, mejorando la conexión entre parches de bosque nativo, reducir la expansión de especies invasoras y promover la reintroducción de especies localmente amenazadas. Para ello se formalizó un convenio entre TRANSELEC S.A. y la Universidad de Concepción, cuyo desarrollo queda bajo la supervisión de CONAF. El desarrollo de esta asociación virtuosa, se refleja 10 años más tarde en esta publicación colaborativa entre el LEP de la Universidad de Concepción, TRANSELEC y CONAF. Además de contar con una superficie restaurada de 6,94 hectáreas (Figura 10), se ha generado un valioso aprendizaje que orientará el desafío de continuar restaurando áreas degradadas dentro del futuro Parque Nacional Nonguén.

MEDIDAS DE COMPENSACIÓN

Tienen por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar. (Ref. artículo 100 del Reglamento del SEIA).

CAPÍTULO 7

Ecosistema de referencia

El ecosistema de referencia, tal como se mencionó en el primer capítulo (capítulo 3, principio 3), es el ecosistema que permite definir el diseño de restauración ecológica en términos de la composición de especies (cuáles y cuántas especies plantar) y la estructura de la vegetación (ubicación espacial de los árboles).

Para identificar el ecosistema o bosque de referencia en el Parque, se realizó una búsqueda en terreno con los guardaparques y los profesionales del LEP en toda la superficie de bosque nativo posible de acceder. El sitio para seleccionar debía cumplir ciertos criterios, tales como la ausencia de animales ganaderos, ausencia de especies exóticas y ser un bosque primario o secundario con una superficie mayor a una hectárea.

Se seleccionaron dos remanentes de bosque nativo que cumplieran con los criterios antes mencionados. El primer sitio de referencia se seleccionó durante el verano del 2017 y está localizado en la zona oeste del Parque, compuesto principalmente por las especies roble, olivillo y lingue. El segundo sitio se seleccionó durante el verano del 2019 y corresponde a un bosque secundario localizado en la zona sureste del Parque, donde dominan las especies coigüe y laurel.

En los sitios de referencia se realizaron dos actividades. La primera consistió en realizar un mapa de fustes (*stem map*), metodología propuesta por Churchill et al (2013)¹⁵ utilizada desde el año 2016 en Chile, gracias a la colaboración de la Dra. Cara Nelson de la Universidad de Montana. El mapa de fustes busca captar la configuración o estructura espacial horizontal de las especies arbóreas del ecosistema de referencia. El mapa de fustes se realizó en una parcela de una hectárea donde se registró la distribución espacial de los individuos arbóreos vivos, muertos y tocones. A cada individuo se le midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y se registró el rango de altura. Para la identificación del patrón espacial, se determinó un umbral de agrupamiento a partir de análisis estadísticos con los datos registrados en la referencia. Esto permite identificar una de las tres posibles características: agrupamiento de árboles (*cluster*), claros o individuos aislados. El patrón espacial obtenido y

la composición de especies se replica en las zonas habilitadas para iniciar el proceso de restauración.

La segunda actividad consistió en medir indicadores ecológicos de composición, estructura, procesos y funciones del ecosistema de referencia los cuales servirán para comparar y evaluar la recuperación de los sitios en proceso de restauración (capítulo 4, tabla 3).

CAPÍTULO 8

Características del ecosistema degradado

Para la identificación del ecosistema a restaurar, se utilizó la cartografía de coberturas y usos del suelo generada por profesionales del LEP. Se identificaron zonas con gran densidad de renovals de las especies invasoras arromo australiano y arromo chileno (Figura 13), zonas cubiertas con *Rubus ulmifolius* (zarzamora) y rodales con *Pinus radiata* (pino) asilvestrado. Todas las especies mencionadas anteriormente invadieron el área previamente ocupada por el ecosistema nativo, reduciendo su biodiversidad y provocando la fragmentación de hábitats.

FIGURA 13

Zona invadida por arromo australiano (*Acacia melanoxylon*) en el Parque Nacional Nonguén.



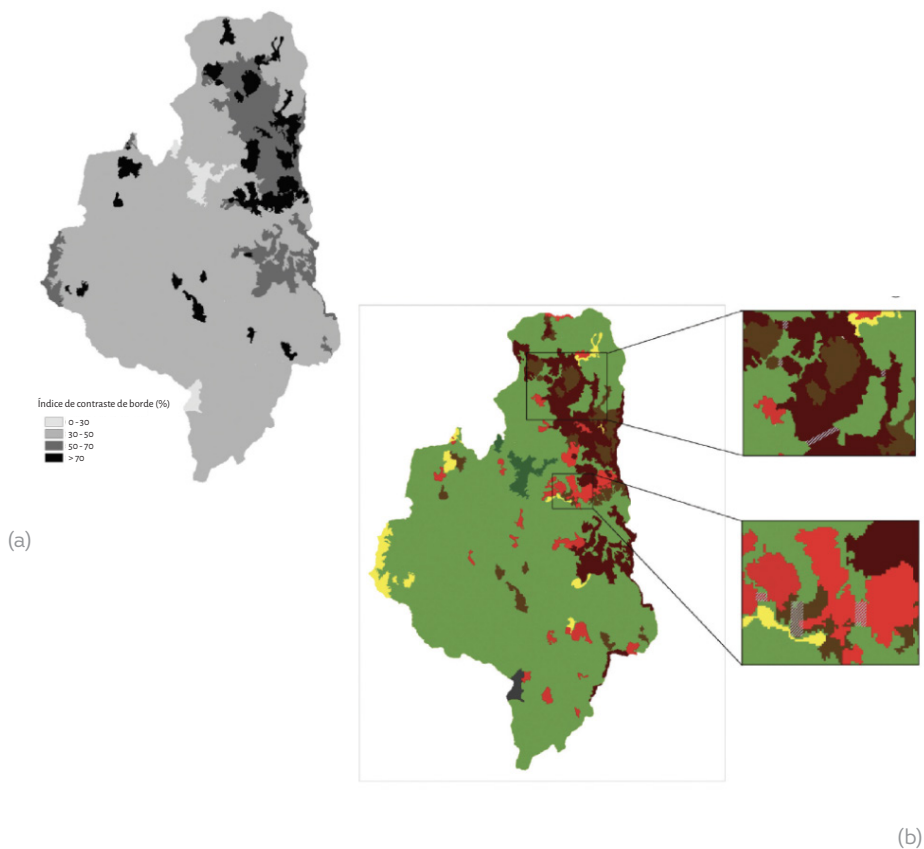
Fotografía de C. Echegaray

Debido a la gran superficie de zonas invadidas por aramo, fue necesario realizar un análisis de priorización a escala de paisaje para seleccionar las zonas para restaurar que mejorarán la conectividad con los remanentes y aumentar el hábitat para las especies de flora y fauna nativa. Lo anterior, permitiría mejorar todos los atributos ecológicos no sólo a nivel de ecosistema, sino también aquellos a nivel de paisaje que se perdieron a causa de la invasión a gran escala.

Para la priorización se realizó un análisis de contraste entre hábitats¹⁶ utilizando herramientas geoespaciales de ecología de paisaje. Se aplicó un índice que contrasta los atributos de composición y estructura entre pares de tipos de ecosistemas en el Parque, como son el bosque nativo maduro, bosque nativo secundario, plantación de pino, plantación de eucaliptus y zonas con exóticas asilvestradas. El índice permite identificar zonas de alto y bajo contraste. Se entiende por “alto contraste” zonas con baja permeabilidad de borde, es decir, el flujo de procesos ecológicos y movimiento de especies especialistas entre ecosistemas es limitado o nulo. Zonas con “bajo contraste” significa que los distintos bordes de ecosistema no reducirían el movimiento continuo de las especies al igual que el flujo de los procesos ecosistémicos. Se observó que las zonas con mayor índice de contraste fueron la interfaz entre el bosque nativo y los rodales invadidos por especies exóticas como aramo australiano y aramo chileno, los cuales se caracterizan por ser árboles con alturas similares y una presencia extremadamente baja de especies nativas (Figura 14). Estos sitios con alto contraste fueron seleccionados para comenzar con el proceso de restauración ecológica.

FIGURA 14

Patrón espacial del índice de contraste de hábitats. Zonas de color gris claro corresponden a un bajo índice de contraste y zonas de color negro corresponde a un alto índice de contraste (a). Sitios con mayor índice de contraste priorizados para restauración (b). Echeverría et al (2013).



CAPÍTULO 9

Las primeras experiencias de restauración ecológica durante 2011 - 2012

A partir de la priorización espacial de sitios, en el año 2011 se realizaron visitas en terreno para determinar a escala local los sitios que fueran factibles de restaurar. Se seleccionaron tres condiciones: (i) la primera correspondiente a un área invadida con árboles de aromo de aproximadamente 15 metros de altura, (ii) el segundo corresponde a un sitio abierto cubierto en su mayoría por zarza y retamilla de 2 metros de altura y algunos pinos y (iii) el tercer sitio corresponde a un bosque secundario degradado con presencia de especies exóticas invasoras como pino y zarzamora. Las tres condiciones suman una superficie total de 2 hectáreas (Figura 10).

El trabajo de preparación del sitio se inició en marzo del 2011 y consistió en la corta de las especies invasoras (aromo y zarzamora) con el objetivo de tener superficie disponible para la plantación de las especies nativas (Figura 15).

FIGURA 15

Sitio dominado por zarza y otras especies exóticas para restauración ecológica. Condición pre-restauración en el 2010, Parque Nacional Nonguén.



© Fotografía de C. Echeverría.

Las especies nativas que se utilizaron fueron seleccionadas a partir del estudio de un bosque nativo sin intervención humana adyacente al área y de la revisión de la literatura. Luego, con el fin de cautelar la procedencia de las plantas a utilizar en la restauración ecológica, se contactó a los viveros de la zona que tuvieran material vegetal local.

Se adquirió un total de 1.410 plantas de diferentes especies entre ellas quillay, roble, peumo, murta, raulí, olivillo, laurel y lingue. Todas las plantas fueron de bolsas con alturas que variaban entre 60 y 100 cm.

En oficina se realizó una propuesta del diseño de plantación (número y especies) de acuerdo con las diferentes condiciones ambientales de cada sitio y los requerimientos de luz de las especies. Luego, el equipo de trabajo del LEP, guardaparques y alumnos voluntarios de pregrado y post grado de la Facultad de Ciencias Forestales distribuyeron y establecieron de manera aleatoria las plantas en julio del 2011 (Figura 16).

FIGURA 16

Alumnos(as) voluntarios(as) de la Universidad de Concepción plantando en el sitio previamente invadido por aramo en el 2011, Parque Nacional Nonguén.



Posteriormente, comenzó la etapa de monitoreo, la que consideraba la medición mensual de la sobrevivencia y el crecimiento de las especies plantadas durante un año. El monitoreo fue llevado a cabo por Cristian Chamblas¹⁷, alumno tesista de Ingeniería Forestal del LEP. Después del roce, algunos tocones fueron tapados con bolsas negras para evitar la entrada de luz y así reducir el rebrote. A pesar de los esfuerzos, el control no fue suficiente y los tocones rebrotaron. Sin embargo, el proceso de rebrote fue más lento y en algunos casos inexistente. El corte de los árboles de aromo fue hecho a aproximadamente 50 cm de altura desde el suelo con el fin de que los rebrotes fueran desde el mismo individuo y así concentrar los posteriores esfuerzos de control. En los casos en que hubo rebrote, se observó el desmoronamiento de éstos luego de cinco años cuando el tamaño y peso de los rebrotes eran proporcionalmente mayor al tocón.

En el año 2012 se expandió la superficie del ensayo de restauración en tres hectáreas adicionales. En conjunto con los guardaparques de CONAF, el equipo del LEP seleccionó los sitios cuya restauración beneficiara a la conectividad entre los remanentes de bosque nativo y que fueran adyacentes a los sitios restaurados el año 2011. Se seleccionaron parches con invasión de aromo y bosques secundarios de roble invadido con zarza y aromo. Se utilizaron las mismas especies del año 2011 y además se incorporaron seis nuevas especies como avellano, canelo, arrayán, boldo, coigüe y maitén, con el objetivo de aumentar la diversidad de especies del área de restauración. Se utilizó el mismo criterio de plantación que en el año anterior, es decir, se distribuyeron las plantas de acuerdo con los requerimientos de luz y humedad del suelo.

La plantación de 2.181 árboles se llevó a cabo en julio del 2012 con alrededor de 15 voluntarios incluyendo alumnos de pregrado, postgrado, profesores y guardaparques. La jornada de voluntariado se realizó durante dos semanas. Por último, en junio del 2018 el equipo científico del LEP junto a CONAF y TRANSELEC S.A, decidieron realizar un replante en los ensayos 2011 y 2012, el cual consideró la plantación de 4.543 ejemplares de las especies roble, coihue, temu (*Blepharocalyx cruckshanksii*), raulí, quillay, maitén, mañío, mayu, laurel y lingue. Esta actividad permitió asistir la trayectoria de recuperación del ecosistema objetivo, y aumentar la diversidad y la competencia frente a las especies invasoras (aromo).

Luego de que el ecosistema alcanzara una cierta diversidad estructural, en el 2019 (ocho años de iniciada la restauración) se consideró incorporar nuevas formas de vida en los ensayos de restauración. Se establecieron 20 plantas de copihue de procedencia local y de aproximadamente 50 cm de altura. Adicionalmente, se colectaron semillas de esta especie en el Parque para su germinación y desarrollo en un vivero local. A la fecha ha sobrevivido el 90% de las plantas de copihue (Figura 17).

FIGURA 17

Medición de copihues plantados el año 2019 en sitios restaurados el año 2011 y 2012.



©Fotografía de C. Echeverría.



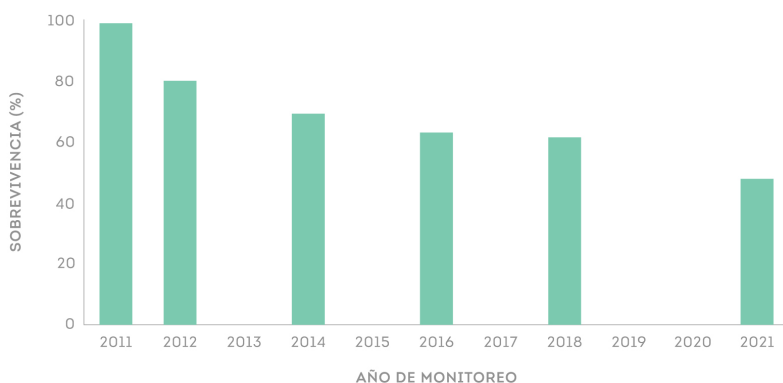
UNA DÉCADA DE RESULTADOS

El monitoreo que comenzó el año 2011 se ha mantenido durante 10 años. Sin embargo, hubo periodos (cuatro a cinco años) que no fue posible medir todas las especies por falta de recursos económicos. Los indicadores seleccionados en aquel momento debían ser de fácil medición, que no requirieran mayores costos y que entregaran información sobre el desempeño ecológico de las plantas. Así se consideró la sobrevivencia y el crecimiento en altura de todas las especies plantadas. Las especies analizadas fueron el laurel, olivillo, quillay, peumo, roble, lingue y murta.

La sobrevivencia aquí mostrada se obtuvo de los sitios que tuvieron un mayor esfuerzo de monitoreo a lo largo del tiempo y que antes estaban dominados por aramo. Al 2021 la sobrevivencia total fue de un 46%, siendo el laurel y el peumo las especies que presentaron una mayor sobrevivencia con 87% y 75% respectivamente (Figura 18).

FIGURA 18

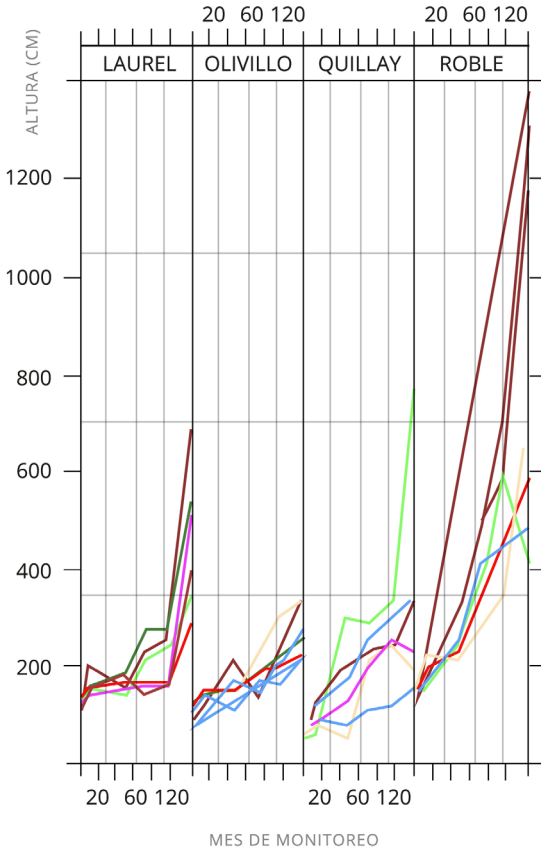
Porcentaje de sobrevivencia durante 10 años en sitios previamente invadidos por aramo. Años sin datos no presentan mediciones.



Con respecto al crecimiento, todas las especies evidenciaron aumento en altura a través del tiempo, sin embargo, por procesos naturales (viento, lluvia, caída de árboles) algunos individuos se vieron afectados con quiebres en sus tallos, observándose un decrecimiento de la especie (Figura 19).

FIGURA 19

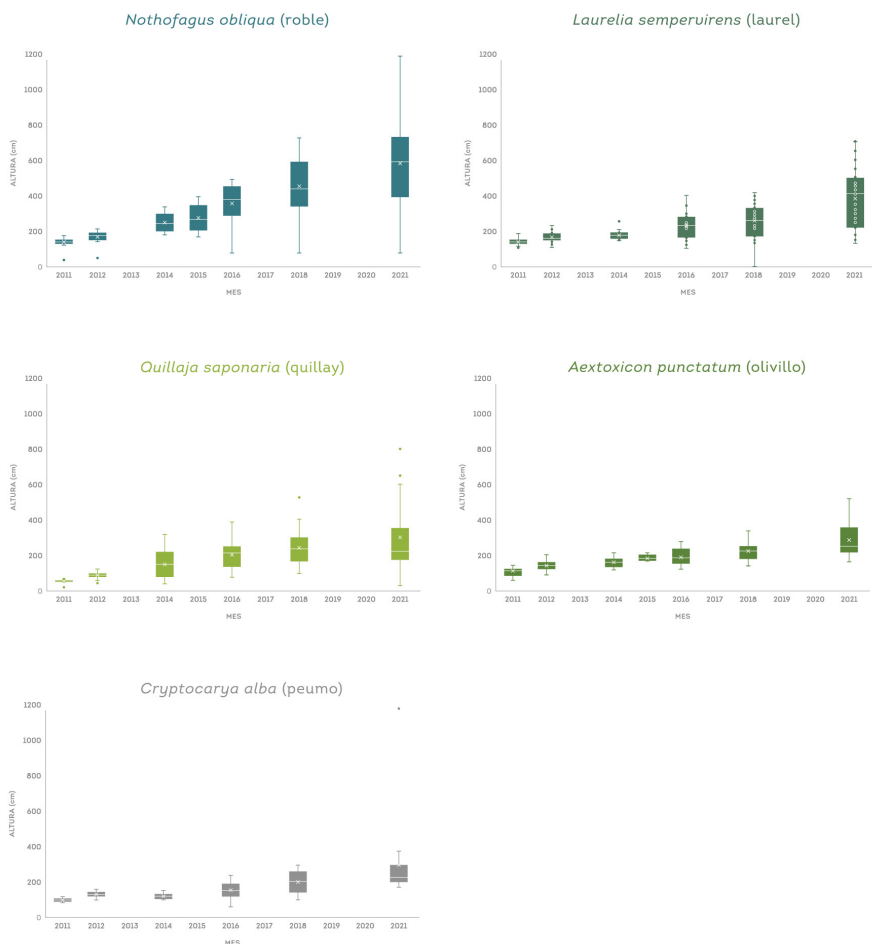
Ejemplo del crecimiento individual en altura durante 10 años de las especies laurel, olivillo, quillay y roble. Las líneas de colores representan cada individuo etiquetado el año 2011.



De todas las especies plantadas, el roble fue la especie que alcanzó en promedio una mayor altura al año 2021 con 622 cm (± 311 cm), seguido por el laurel que presentó una altura promedio de 384 cm (± 171 cm) (Figura 20). Las alturas del peumo, olivillo y quillay fueron similares y variaron entre 286 y 342 cm. Las especies que registraron una menor altura al 2021 fueron el lingue y la murta con una altura promedio de 100 cm ($\pm 98,9$ cm) y 141 cm ($\pm 34,1$ cm) respectivamente. Valores cercanos a cero se explica por las condiciones climáticas durante la temporada de invierno (lluvias intensas y caída de arboles), provocando el quiebre de los ápices y ramas laterales en algunos individuos.

FIGURA 20

Altura de las especies plantadas y monitoreadas a través del tiempo. Datos 2011-2021¹¹
Años sin datos no presentan mediciones.



Al cabo de 10 años de monitoreo se observa una mayor diversidad en términos de la composición vegetal con una mayor dominancia de especies nativas y un aumento en la complejidad estructural al existir especies nativas con distintas tasas de crecimiento. También se evidencia la presencia de nuevos estratos formados por especies nativas, antes ausentes como el herbáceo y arbustivo. Lo anterior, genera una mayor heterogeneidad de hábitat para la colonización de especies animales y vegetales, lo que a su vez permite la reactivación de procesos ecosistémicos, logrando mejorar la resiliencia del ecosistema (Figura 21).

FIGURA 21

Recuperación de los atributos ecológicos correspondiente a la restauración ecológica iniciada el 2011 con datos al 2021.

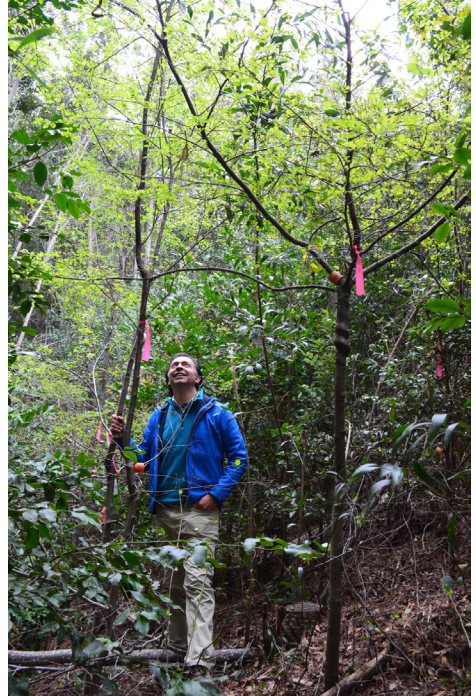
		10 AÑOS DE INICIADA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	
ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	INDICADORES	CONDICIÓN PRE - RESTAURADO	BOSQUE BAJO RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
COMPOSICIÓN	Riqueza de especies	4 especies	13 especies
	Especie dominante	Aromo australiano	Roble, Laurel y Olivillo
	Proporción especies exóticas	100% exóticas	8% exóticas
ESTRUCTURA	Densidad	17.625 arb/ha	2.875 arb/ha
	Variación en rangos de altura	13%	66%
FUNCIÓN	Interacción inter-específica	Prácticamente nula	Nidificación y hongos parásitos
	Regeneración de especies nativas	Escasa a nula	Maño, Lingue y Roble
COMPOSICIÓN	Riqueza de especies	1 especie	7 especies
	Especie dominante	Zarzamora	Quillay y Roble
	Proporción exótica: nativa	100% exóticas	14% exóticas
	Formas de vida	Arbustiva	Árbóreas, arbustivas, trepadoras
ESTRUCTURA	Cobertura arbustiva	100% Zarzamora	17% exóticas
	Número de estratos	1	3
FUNCIÓN	Regeneración de especies nativas	Escasa	Roble, quillay, peumo y mayu

FIGURA 22

(a) Plantación 2011 en zona previamente invadida por aramo, (b) mismo sitio recuperado al año 2021. (c) roce 2011 de sitio invadido por zarza , (d) plantación 2011 zona invadida por zarza y (e) mismo sitio monitoreado el 2019.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

CAPÍTULO 10

Ampliando las áreas de restauración

Etapa 2018-2020

Con el ánimo de avanzar en la investigación y práctica de la restauración ecológica de bosques nativos, se logra un nuevo acuerdo entre UdeC, TRANSELEC y CONAF para expandir el área de restauración en dos hectáreas más (Figura 10). Para esta etapa ya se contaba con la primera versión de los estándares de la SER, los cuales fueron utilizados para caracterizar los atributos ecológicos de un sitio de referencia y así definir un modelo de referencia. Además de caracterizar indicadores de composición, se caracterizó el arreglo o patrón espacial de los árboles como atributo estructural del sitio de referencia.

Durante el invierno del año 2018 se plantaron un total de 1.688 ejemplares por cada hectárea, con un arreglo en grupo o *cluster* con densidades variadas de las especies de roble, quillay, maitén y mayú. Si el área a restaurar no es exactamente de 1 hectárea, la plantilla obtenida se localiza en el área de restauración, seleccionando todos los *cluster* que se ajustan en esa superficie (Figura 23). Además, frente a la necesidad de aplicar frecuentemente controles mecánicos para disminuir la competencia de los rebrotes de aromo, se aplica por primera vez el control químico en sitios densamente invadidos por esta especie.

Se realizó un diseño de monitoreo con parcelas permanentes de 500 m² donde se etiquetaron todas las especies plantadas para medir mensualmente en el tiempo la sobrevivencia, la altura y el diámetro a la altura del cuello (DAC) por dos años. Posteriormente, se definió que la frecuencia de medición se mantendría semestralmente, ya que a los 24 meses se pudo evaluar el desempeño de las especies plantadas.

FIGURA 23

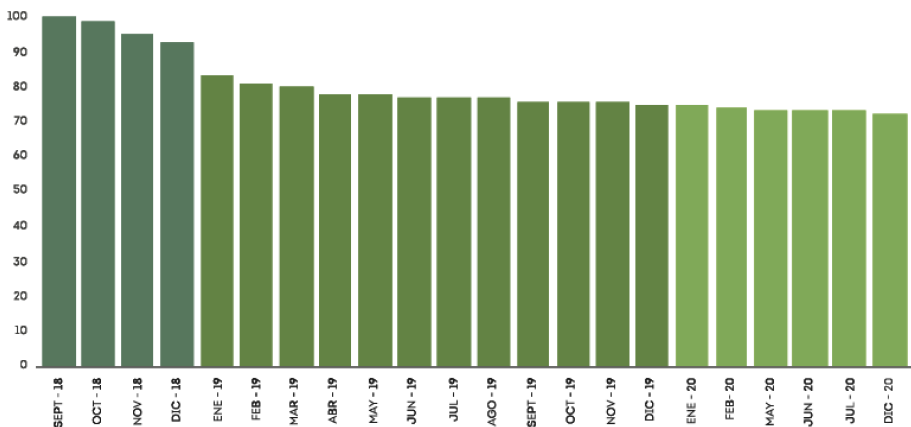
Diseño del patrón espacial a partir del ecosistema de referencia para la superficie de restauración. Datos 2019¹⁸



Al cabo de un año, la sobrevivencia de todas las especies de plantas establecidas llegó a un 76%; luego de dos años, este valor descendió un 72%. Específicamente, los distintos sitios plantados presentaron variaciones de sobrevivencias los cuales van desde un 63% a 77% al finalizar el segundo año (Figura 24).

FIGURA 24

Porcentaje de sobrevivencia a través del periodo monitoreado (24 meses)



De la especie maitén se plantó un total de 841 ejemplares en junio del 2018, de los cuales sobrevivió un 76% al cabo de un año y un 68% luego de dos años. Los valores de sobrevivencia de maitén variaron desde un 45% a 75% entre los distintos sitios plantados a finalizar el segundo año de monitoreo.

En el caso del roble, se plantó un total de 1.483 ejemplares, de los cuales sobrevivió un 74% al cabo de un año y luego de dos años la sobrevivencia disminuyó en un 1%, obteniendo una sobrevivencia del 73% para toda la superficie

plantada. Específicamente, los valores de sobrevivencia variaron entre los sitios plantados, desde un 52% a 82% luego de 24 meses.

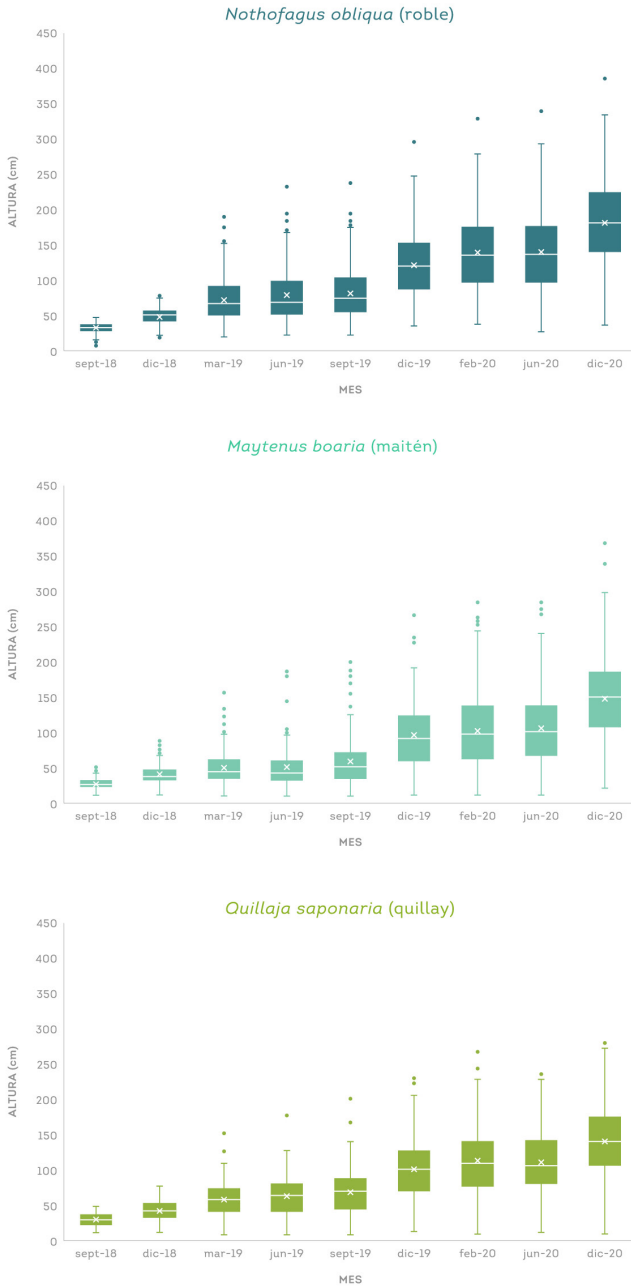
Respecto al quillay, se plantó un total de 1.052 ejemplares, de los cuales sobrevivió un 83% al cabo de un año y un 80% luego de dos años en toda la superficie de restauración. Sin embargo, los sitios plantados presentaron diferencias en la sobrevivencia, la cual varió desde un 65% a 95% luego de 24 meses.

El crecimiento de todas las especies monitoreadas durante el primer periodo estival (marzo 2019) alcanzó un promedio de 33,01 cm/año y al cabo de dos años (diciembre 2020) el crecimiento tuvo una tasa promedio de 66,6 cm/año.

Luego de dos años, la especie que presentó la mayor altura promedio (diciembre del 2020) fue el roble con 182 cm (± 63 cm) seguido por el maitén con 147 cm (± 63 cm) y por último el quillay con 142 cm (± 53 cm). En algunos meses se observa pérdida de altura durante el periodo de crecimiento, explicado por los eventos naturales como fuertes vientos y lluvias durante la temporada de invierno, provocando el quiebre de los ápices y ramas laterales en algunos individuos (Figura 25).

FIGURA 25

Crecimiento en altura durante el periodo 2018-2020. Ejemplares plantados de las especies roble, maitén y quillay.



Se observaron diferencias en el crecimiento en altura de las especies plantadas entre sitios con y sin control de aromo australiano luego de dos años de mediciones continuas. En el sitio con control de la especie invasora, maitén alcanzó una tasa de crecimiento de 67,3 cm/año y una altura promedio de 162 cm (± 78 cm) a diciembre del 2020. En cambio, en el sitio sin control de aromo australiano, el maitén presentó una tasa de crecimiento menor con 48,9 cm/año y una altura de 124 cm (± 45 cm) a la misma fecha (Figura 26). Situación similar ocurrió para la especie roble, presentando una mayor tasa de crecimiento con 84,49 cm/año en el sitio con control y un 66,14 cm/año en el sitio sin control. La mayor altura al cabo de dos años la presentó el sitio con control de aromo australiano registrando un promedio de 201,1 cm ($\pm 76,1$), en cambio, en el sitio sin control presentó una altura promedio de 165 cm ($\pm 60,5$) (Figura 27).

FIGURA 26

Variación del crecimiento en altura de plantas de maitén establecidas en un sitio con control (A) y sin control de aromo australiano (B) a lo largo de dos años de mediciones.

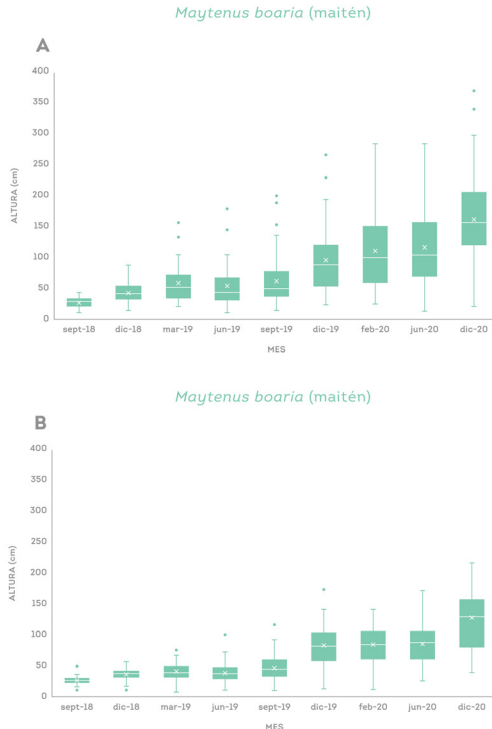
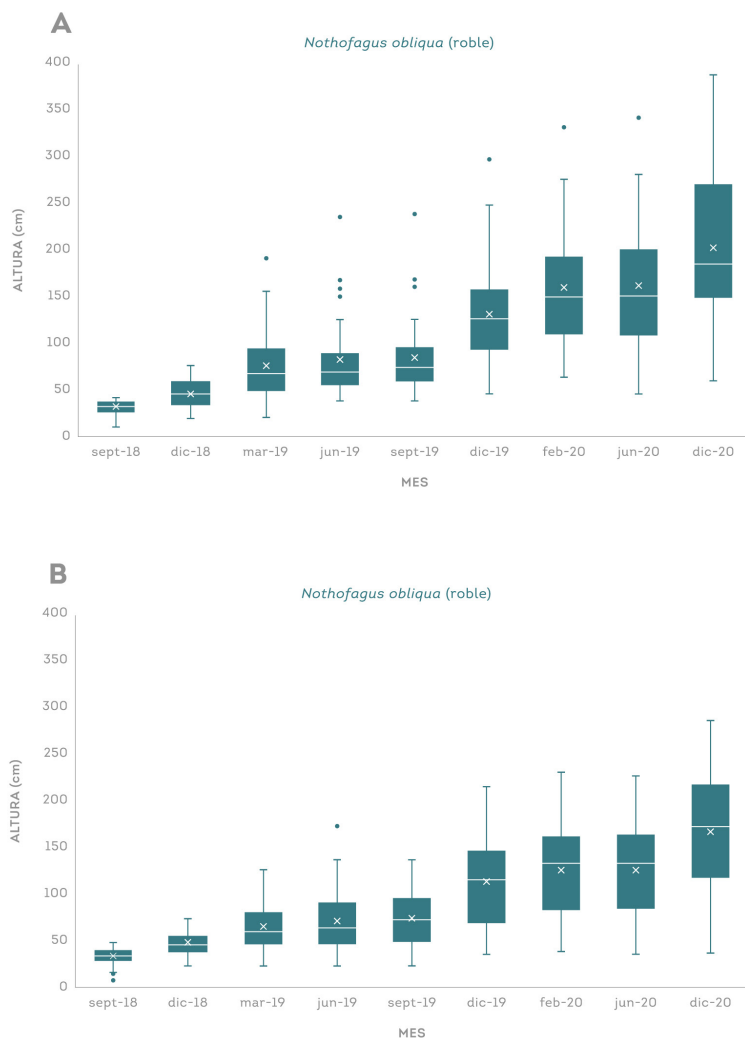


FIGURA 27

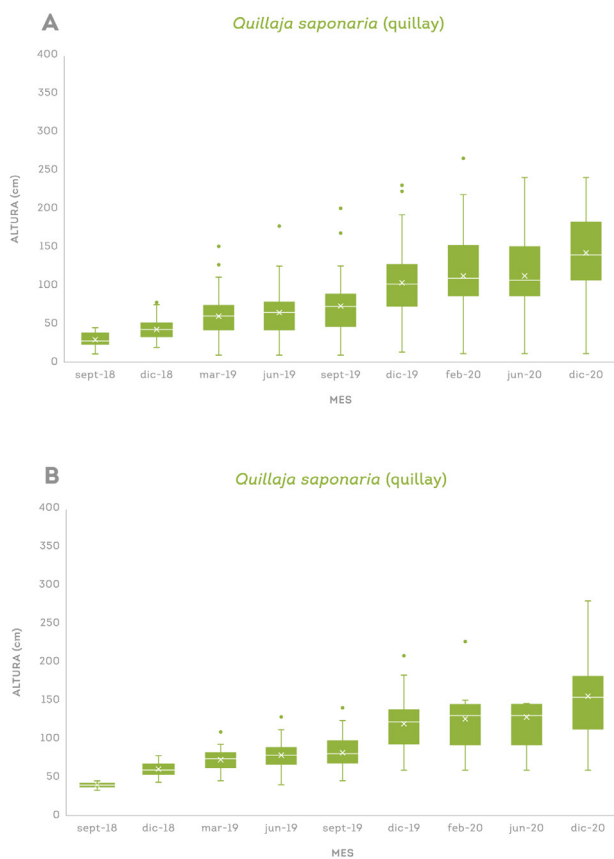
Variación del crecimiento en altura de plantas de roble establecidas en un sitio con control (A) y sin control de aroma australiano (B) a lo largo de dos años de mediciones.



Para la especie quillay las tasas de crecimiento en altura no tuvieron diferencias significativas entre sitios con y sin control de aroma australiano. Aun así, en el sitio con control, el quillay presentó una mayor tasa de crecimiento con 57 cm/año y 53,4 cm/año para el sitio sin control. La altura promedio al cabo de dos años para el sitio con control y sin control fue de 144 cm (± 52 , 5 cm) y 143 cm (± 50 cm) respectivamente (Figura 28). Cabe mencionar que algunas plantas de quillay en el sitio con control presentaron quiebres y curvaturas en sus tallos por procesos naturales (Figura 28. A).

FIGURA 28

Variación del crecimiento en altura de plantas de quillay establecidas en un sitio con control (A) y sin control de aroma australiano (B) a lo largo de dos años de mediciones.



CAPÍTULO 11

Evaluando el éxito de la restauración

En el año 2011 se inició la etapa de monitoreo de los primeros ensayos de restauración ecológica considerando únicamente como indicadores ecológicos la sobrevivencia y crecimiento de las especies plantadas. Posteriormente, en el 2014, se incorporan otros indicadores ecológicos que permitieron evidenciar la recuperación de más atributos ecosistémicos, incluyendo la composición de especies vegetales, la estructura y las funciones ecosistémicas de los sitios restaurados. Se midió el éxito ecológico¹⁹ del ensayo del 2011 en tres condiciones de sitio: (a) prerrestaurado, caracterizado por un área invadida por aramo australiano y otras especies exóticas; (b) restaurado, área reconstruida mediante plantación de especies nativas y (c) referencia, bosque nativo secundario adyacente al área de restauración. Los diferentes indicadores fueron comparados estadísticamente para determinar si existían diferencias entre las distintas condiciones de sitio. En términos de composición y estructura se encontraron diferencias significativas entre la condición pre-restaurada y restaurada.

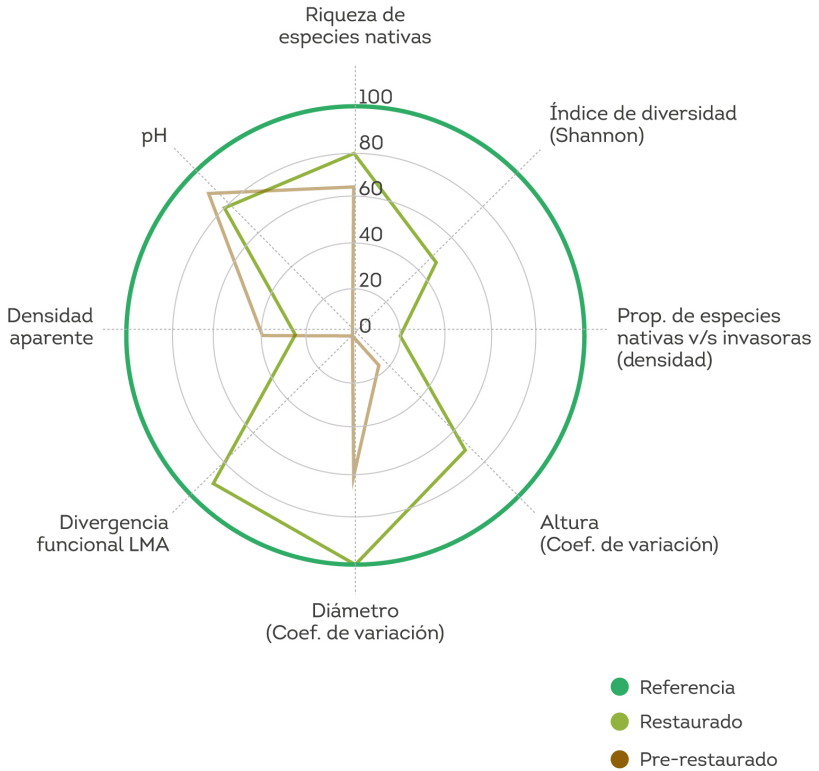
Por último, se realizó una evaluación integrada de la recuperación utilizando una modificación de la fórmula “razón de respuesta”²⁰ para estimar el grado de recuperación, asignando a la referencia el 100% (valor máximo de complejidad). La evaluación integrada reveló qué indicadores y atributos de la biodiversidad se encuentran más alejados del ecosistema de referencia. Después de tres años se ha podido restablecer la riqueza de especies nativas, pero la densidad de éstas sigue siendo inferior con respecto a la de las especies exóticas invasoras. Se observa una mayor complejidad ecológica del ecosistema bajo restauración dado por una diversidad estructural tanto horizontal como vertical (Figura 29). Es necesario recuperar la diversidad en términos de riqueza y abundancia, ya que éste fue bajo de acuerdo con el índice de Shannon. Por lo tanto, el control de invasoras es clave en la recuperación del atributo composicional y funcional. El plan de restauración debe incluir la mantención de los sitios, traducido en un control efectivo de las especies exóticas invasoras (aramo, zarza).

En los próximos años se debería continuar midiendo la proporción de especies nativas y exóticas y las condiciones físicas y químicas del suelo, ya que es posible que estos indicadores entreguen información en periodos más avanzados de la restauración. Además, es necesario llevar a cabo regeneración asistida en áreas específicas donde las especies nativas aún no se han establecido para aumentar la competencia por los recursos.

Se han recuperado ciertos procesos ecosistémicos, luego de seis años de haber iniciado las acciones para volver a poner el ecosistema en la trayectoria que tenía antes de su degradación. En particular, se aprecia interacción entre especies, hongos parásitos como *digüéne* en roble, nidos de picaflor en maitenes, regeneración de especies nativas no plantadas, pupas de mariposas en robles plantados, mayor cobertura del suelo por hojarasca de especies nativas y movimiento de zorros entre los sitios restaurados.

FIGURA 29

Evaluación integrada de la restauración ecológica mediante indicadores ecológicos medidos en las diferentes condiciones de sitio.





©Fotografía de C. Echeverría.





PARTE III

HACIA UNA NUEVA
TRAYECTORIA EN
LA DÉCADA DE
LA RESTAURACIÓN

LA PRÁCTICA DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

En los últimos años, diversos sectores de la sociedad chilena, al igual que en muchos otros países, han revelado la necesidad de restaurar ecosistemas degradados para recuperar la biodiversidad y así enfrentar de mejor manera los desafíos ambientales locales y globales. A nivel gubernamental, Chile se comprometió con la restauración de ecosistemas degradados en la Contribución Determinada a Nivel Nacional presentada en abril del 2020 a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En particular, el país se comprometió a: (i) manejo sustentable y recuperación de 200.000 hectáreas de bosques nativos, (ii) forestación de al menos 70 mil hectáreas con especies nativas y (iii) un Plan Nacional de Restauración a Escala de Paisaje (PNREP) de 1 millón de hectáreas al 2030 para su implementación en un período de cinco años (financiamiento de GEF por US\$ 5,4 millones). Este Plan no se centra en la recuperación de un ecosistema a escala local, sino que busca la recuperación de la funcionalidad de los paisajes y sus servicios ecosistémicos, cuyas dimensiones espaciales y temporales implican que quienes lo ejecuten conozcan nuevos enfoques conceptuales y operacionales en la materia.

Adicionalmente, y en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales, la CONAF ha obtenido de parte del Fondo Verde del Clima, organismo dependiente de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, el financiamiento como pago por resultados derivados de las reducciones de emisiones y principalmente el aumento de las capturas de gases de efecto invernadero entre las regiones del Maule y Los Lagos. En esta instancia, la FAO actúa como entidad ejecutora, mientras que el MINAGRI, por medio de CONAF, participa como ente a cargo de su implementación. Por esta vía, Chile recibirá el financiamiento de parte del Fondo Verde del Clima (\$47 mil millones) en un período de seis años, para desarrollar el proyecto +Bosques, el cual apunta a la gestión forestal sustentable de bosque nativo, que involucra 25.541 hectáreas de bosques nativos, de las cuales 4.271 corresponden a procesos de restauración. Estas acciones se focalizarán en terrenos públicos, esencialmente áreas silvestres protegidas y terrenos pertenecientes a pequeños y medianos propietarios, generándose la oportunidad de intervenciones que por su localización y posibles sinergias maximicen los efectos ambientales a escala de paisaje.

En el sector privado, varias empresas del rubro forestal, inmobiliario, energético y minero, entre otros, se han involucrado en la ejecución de las actividades del gradiente restaurador para recuperar ecosistemas destruidos o degradados, como parte de medidas compensatorias o de responsabilidad social empresarial. En la última década, se observa un mayor número de casos con el uso del término “restauración” en los compromisos ambientales de varias empresas en Chile. En el sector forestal, varias empresas se comprometieron a restaurar decenas de miles de hectáreas de bosques nativos sustituidos por plantaciones de especies exóticas mediante restauración ecológica. Otros sectores del mundo privado han incorporado programas de restauración de bosques dentro de programas de compensación como también en iniciativas voluntarias hacia una sustentabilidad ambiental.

En la materialización de estos compromisos, se han aplicado diversas aproximaciones del gradiente restaurador, siendo pocas las superficies las que han considerado un modelo de referencia en su diseño y una evaluación de éxito de la restauración ecológica. En unos pocos casos, se evidencia un avance en la incorporación de la restauración ecológica y sus Estándares en programas de compensación ambiental en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental o programas de cumplimiento exigidos por la Superintendencia de Medio Ambiente. Estos últimos tipos de compromisos ambientales han representado un nuevo paradigma en las visiones y políticas internas de las empresas, implicando en algunos casos cambios en el perfil de los profesionales a cargo como también aprendizaje y adaptación para aquellos profesionales de otras áreas no técnicas como el área jurídica, relaciones públicas y corporativas. Este nuevo paradigma de la restauración ecológica ha significado llevar a cabo soluciones técnicamente más exigentes, tanto para las empresas como para quienes las ejecutan, junto con una mayor inversión en recursos financieros y operacionales. De esta forma se puede anticipar, si bien aún en forma incipiente, una paulatina transición desde una gestión productiva que buscaba minimizar sus costos operacionales y reactivamente involucraba medidas ambientales compensatorias, a una mirada que entiende que el mercado no sólo evalúa su desempeño como actor capaz de generar bienes y servicios de calidad y bajo costo, sino que además les exige hacerse cargo, bajo estándares

auditables, de los efectos que su ejercicio empresarial genera sobre el medio natural.

En los últimos años, un mayor número de consultoras ambientales han incorporado en sus líneas de trabajo la restauración de ecosistemas y ofrecen servicios profesionales que van desde el diseño al monitoreo. También ocurre, pero en menor medida, que los Tribunales Ambientales han sancionado a particulares por daños ambientales y éstos presentan un plan de reparación basados en la restauración ecológica.

A pesar de esta nueva tendencia hacia la restauración de ecosistemas, la mayoría de ellos distan de los Estándares explicados en capítulos anteriores y utilizan los conceptos de *reforestación* (con especies nativas y, en ciertos casos, con exóticas) y *restauración* indistintamente. Se ha visto en ciertos programas o planes denominados como de restauración por parte de servicios públicos y de privados, la plantación de especies nativas de manera regular, equidistantes unas de otras, sin considerar un modelo de referencia. A nivel nacional, se hace muy necesario avanzar en la enseñanza formal e incorporación de profesionales entrenados y certificados en restauración ecológica. Además, es vital que instituciones y servicios fiscalizadores incorporen los Estándares a través de manuales oficiales, instructivos o indicadores de cumplimiento que guíen y faciliten la implementación de la restauración ecológica en el sector privado y así cumplir de mejor forma con las exigencias ambientales.

HACIA LA PROFESIONALIZACIÓN DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Sin duda, todo lo expuesto anteriormente está implicando una mayor demanda por profesionales debidamente capacitados en restauración ecológica, que puedan recuperar no sólo bosques degradados, sino también, otros ecosistemas naturales que han sido modificados. Esto ha significado que un número creciente de profesionales, muchos de ellos sin formación a nivel de pregrado en restauración ecológica, estén tomando decisiones o practicando algunas de las actividades restauradoras. Por otra parte, se ha visto que más profesionales

de áreas afines han decidido especializarse a nivel de postgrado o mediante cursos o diplomados en restauración ecológica o en recuperación ambiental para cubrir las diferentes necesidades que surgen desde el sector público y privado.

En el 2013, Clewell y Aronson⁵ reconocían a la restauración ecológica como una profesión emergente, la cual se acerca a cumplir ciertos criterios de profesionalización: (i) ser reconocida por proveer un servicio o producto específico, (ii) aquellas personas que practican la profesión han pasado por programas de entrenamientos que las califican para su trabajo profesional, (iii) los y las profesionales acumulan experiencia en práctica lo que aumenta su experticia y su calificación curricular, (iv) los y las profesionales se asocian para establecer estándares y códigos de ética que ellos mismos han definido a través de la formación de asociaciones profesionales.

Adicionalmente, en el 2015, un estudio²¹ reporta la emergencia de una “economía de la restauración ecológica” o “industria de la restauración”, entendida como aquella actividad económica que contribuye al mejoramiento ecológico y a recuperar la provisión de servicios ecosistémicos. El estudio agrega que la regulación ambiental de los Estados Unidos de América está conduciendo a una industria de la restauración de 25 mil millones de dólares por año que directamente da empleo a 126 mil personas e indirectamente a otras 95 mil, más que las mineras de carbón y fábricas de hierro y acero. El rango de industrias que busca los servicios de restauración es amplio, incluyendo arquitectura, planificación e ingeniería de proyectos, consultoras, servicios legales, manejo forestal, paisajismo, entre otras. Muchos de estos servicios se enfocan en la restauración de sistemas hídricos como humedales, vegetación ribereña, estuarios y sistemas terrestres como bosques.

En Chile, los profesionales de la restauración ecológica pueden tener un rol clave en el apoyo al cabal cumplimiento de proyectos de recuperación por daño ambiental que son exigidos por la autoridad ambiental, o bien, en la ejecución de planes o programas de restauración de gobiernos nacionales y locales, y en el desarrollo de iniciativas de privados. Los profesionales de esta disciplina pueden desempeñarse desde la formulación de estudios de impacto ambiental hasta el monitoreo de los impactos, y especialmente proponer medidas de compensación. En muchos de los proyectos con impacto en ecosistemas y paisajes contratan a profesionales sin conocimientos sólidos en restauración ecológica, lo que conduce a una recuperación parcial de atributos y hacia un estado alternativo.

Como se indicó en páginas anteriores, hoy el país desarrolla, y desarrollará, varias iniciativas de restauración de paisajes y ecosistemas bajo la coordinación de organismos públicos vinculados al medio ambiente. Es tremendamente necesario que profesionales acreditados o con entrenamiento formal en restauración ecológica sean quienes lideren y tomen decisiones sobre la planificación e implementación de tales iniciativas y no dependan de profesionales con formación y estándares de disciplinas alejadas al tema.

Algunas universidades chilenas han atendido la necesidad de formalizar la enseñanza y preparación de profesionales en restauración de ecosistemas. Se han creado programas de entrenamiento a nivel de postgrado, diplomados, postítulos y cursos específicos en recuperación, restauración y rehabilitación ambiental. Algunos programas de postgrado existentes han incluido dentro de sus líneas de investigación la restauración de ecosistemas cuando cuentan con investigadores en esa área. Sin embargo, aún es muy escasa la oferta de especialización y capacitación en restauración ecológica, y en menor medida, que incluyan los Estándares en sus contenidos.

Es cada vez más necesario para el país que las instituciones ejecutoras y fiscalizadoras de proyectos o programas de restauración ecológica cuenten con profesionales calificados que puedan conducir o evaluar de manera efectiva la restauración ecológica. Actualmente, en Chile la restauración ecológica no es reconocida formalmente como una profesión. Tampoco existe una entidad

privada o pública en el país que entregue la certificación de profesionales en el tema. Sin embargo, a nivel internacional, la SER cuenta con un esquema de certificación de profesionales en restauración ecológica (<https://www.ser.org/page/CERPApplications/>) que dura cinco años y cuenta con dos niveles: (i) practicantes de nivel superior con más de cinco años de experiencia a tiempo completo en restauración y que cuentan con los conocimientos requeridos, y (ii) practicantes en entrenamiento que han logrado los conocimientos requeridos o poseen más de cinco años de experiencia, pero no ambos.

COMPRENDIENDO LOS IMPACTOS DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Es necesario avanzar en comprender y dimensionar la magnitud de los múltiples tipos de impactos que puede tener la restauración ecológica cuando se aplica en proyectos o programas de recuperación socio-ecológica. Frente a las diferentes iniciativas que se levantan hoy en el país de parte de privados y de organismos públicos, no hay que perder de vista la necesidad de evaluar continuamente el impacto que tiene la restauración ecológica en recuperar los componentes y atributos de los diferentes niveles de la biodiversidad. De igual forma, es necesario contar con mecanismos o indicadores que permitan cuantificar el impacto que tiene en la recuperación de servicios ecosistémicos o en las contribuciones de la naturaleza para el bienestar de las personas.

Una de las preguntas que habrá que responder prontamente es cuánto carbono se captura y almacena sobre y en el suelo mediante la restauración ecológica de ecosistemas degradados. Así también, es necesario saber en qué magnitud se recuperan los servicios ecosistémicos hídricos cuando se restaura vegetación ribereña o cabeceras de cuenca en zonas de sequía y con concentración de beneficiarios. El impacto de las políticas públicas que se generen asociadas a la crisis climática podrá ser mejor evaluado si se cuenta con evidencia científica sobre las tasas de captura y almacenamiento de carbono para diferentes tipos de ecosistemas, como también, de la capacidad de los ecosistemas de provisión de agua para consumo humano en Chile.

El aporte de la academia en colaboración con actores locales es crucial para contestar estas interrogantes. Para ello es importante transitar hacia una mayor conexión entre la ciencia y la práctica, con el fin de tomar mejores decisiones y así contribuir a desarrollar planes o proyectos de restauración ecológica con mayor impacto positivo.

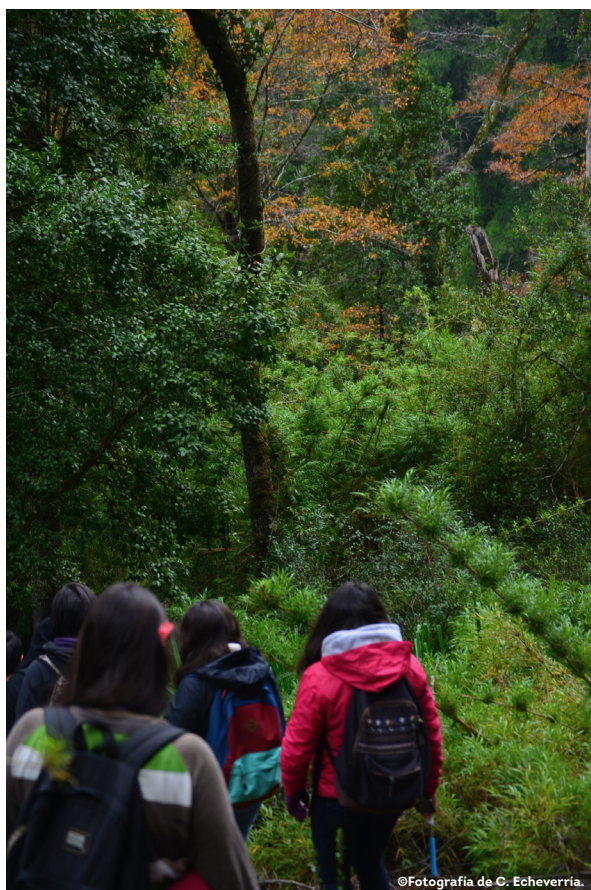
Los impactos de la restauración ecológica no sólo deben ser medidos en términos ecológicos o ambientales, sino también sociales. Resulta relevante saber de qué forma la recuperación de servicios ecosistémicos esenciales para las personas contribuye a suplir las necesidades humanas. Cuando un proyecto de restauración escala en superficie y ha nacido del involucramiento temprano de los actores clave, puede tener un efecto multiplicador en la recuperación de procesos de paisaje con mayor número de beneficiados. Además, cuando existe una armonización de las diferentes motivaciones de la restauración en las etapas de diseño y monitoreo de los proyectos de restauración, se generan metas y objetivos más adecuados y así mayores beneficios. Sin duda, la combinación de beneficios sociales y ecológicos de la restauración puede conducir a mejorar la resiliencia de sistemas socio-ecológicos.

Hoy, el cambio climático es un fenómeno que afecta los sistemas biofísicos y el bienestar humano en todo el planeta. El mundo científico, empresas, líderes mundiales, políticas públicas y sociedad en general reconocen a la restauración ecológica como una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático. La reducción de emisiones de carbono debe ir acompañada de acciones que apunten a evitar la pérdida y degradación de bosques nativos, las cuales también son estrategias para enfrentar la crisis climática. Sin embargo, dicha reducción ya no es suficiente, hoy se necesita capturar y almacenar más.

Chile, al igual que otros países de América Latina, ha enfrentado una pérdida irreversible de extensas superficies de bosques nativos. Es en estos lugares donde la restauración ecológica juega un rol protagónico en avanzar hacia la recuperación de estos ecosistemas, donde se profesionalice la disciplina y

su práctica se haga común y llegue a ser exigida por el Estado ante cualquier daño ambiental.

Este libro es el primero en Chile que reporta la aplicación de los estándares internacionales de restauración ecológica por una década y representa un aporte concreto para promover su práctica y lograr en el tiempo el mayor nivel de recuperación posible en ecosistemas altamente degradados.



©Fotografía de C. Echeverría.

REFERENCIAS

- 1** Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. (2019). Informe de Evaluación Global de IPBES sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas. (Informe nro. 1). Bonn, Alemania: IPBES.
- 2** Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2020). Quinto Informe Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica GBO-05. (Informe nro. 5). Montreal, Canadá: CDB.
- 3** Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Sexto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). (Informe nro. 6). Santiago, Chile: MMA.
- 4** Gann, G., Mcdonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C., Johnson, J., Hallett, J., Eisenberg, C., Guariguata, M., Liu, J., Hua, F., Echeverria, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. y Dixon, K. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*. Segunda edición. 27. S1-S46.
- 5** Clewell, A., y Aronson, J. (2013). *Ecological restoration: principles, values and structure of an emerging profession*. Washington DC, Estados Unidos: Island Press.
- 6** FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings*. Roma, Italia: FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- 7** EULA-Chile. (2002). *Estudio básico zonificación Fundo Nonguén*. (Informe nro. 1). Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- 8** Pickett, S. T. A., y White, P. S. (1985). *Natural disturbance and patch dynamics*. Londres, Inglaterra y Orlando, Estados Unidos: Academic Press, <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02952-3>
- 9** Mack, R. N., Simberloff, D., Mark Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., y Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological applications*. 10(3), 689-710.
- 10** Kolar, C. S., y Lodge, D. M. (2001). Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in ecology & evolution*, 16(4), 199-204. DOI: 10.1016/s0169-5347(01)02101-2

- 11 Fuentes, N., Sánchez, P., Pauchard, A., Urrutia, J., Cavieres, L., y Marticorena, A. (2014). *Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile: Una Guía de Campo*. Laboratorio de Invasiones biológicas (LIB). Concepción, Chile: LIB.
- 12 Luebert, F., y Plissock, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- 13 Hayek, E.R., y Di Castri, F. (1975). *Bioclimatografía de Chile*. Santiago, Chile: Universidad Católica de Chile.
- 14 Sepúlveda-Sánchez, F., y O. Skewes. (2015). Mesomamíferos en la Reserva Nacional Nonguén: antecedentes de una reserva reciente y cercana a una gran ciudad. *Biodiversidad*. Boletín nro. 3. Santiago, Chile: CONAF.
- 15 Churchill, D. J., Larson, A. J., Dahlgreen, M. C., Franklin, J. F., Hessburg, P. F. y Lutz, J. A. (2013). Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest ecology and management*. 442-457.
- 16 Echeverría, C., Gatica, P. y Fuentes, R. (2013). Habitat edge contrast as an indicator to prioritize sites for ecological restoration at the landscape scale. *Natureza & Conservação*, Volumen 11, 170-175. <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/natcon.2013.026>
- 17 Chamblas, C. (2015). Evaluación de supervivencia y crecimiento de especies nativas establecidas en un ensayo de restauración ecológica en la Reserva Nacional Nonguén, Chile. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- 18 Morán, J. (2021). Diseño de plantación de especies arbóreas nativas en un área de restauración ecológica en el Parque Nacional Nonguén. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- 19 Gatica, P. (2017). Evaluación del éxito ecológico de la restauración de ecosistemas y paisajes forestales en el centro-sur de Chile. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- 20 Meli, P., D. Holl, K., Rey, J. M., Jones, H.P., Jones, P.C., Montoya, D., y Moreno, D. (2017). A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *Plos One*. Volumen 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368>
- 21 Bendor, T., Lester, T. W., Livengood, A., Davis, A. y Yonavjak, L. (2015). Estimating the Size and Impact of the Ecological Restoration Economy. *Plos One*. Volumen 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128339>

ESTE PROYECTO AL MEDIO EXTERNO ES POSIBLE
GRACIAS AL FINANCIAMIENTO DE:

COLABORAN:



Laboratorio
De Ecología
De Paisaje