

OPINIONES

La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados

Silviculture as a tool for restoration of temperate forests

Jan R Bannister ^{**}, Pablo J Donoso ^b, Rodrigo Mujica ^a

*Autor de correspondencia: ^a Instituto Forestal, Sede Los Ríos, Fundo Teja Norte S/N, Valdivia, Chile, tel.: 56-63-2335200, jrbannister@infor.cl

^b Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Instituto de Bosques y Sociedad, Valdivia, Chile.

SUMMARY

When we apply silviculture in the context of forest restoration, we aim at increasing the biodiversity and structural complexity of degraded and fire-disturbed old-growth forests, secondary forests (degraded and with normal density) and exotic monocultures, in order to improve their ecological functionality and maximize the ecosystem services that they provide. This work aims at: a) providing a conceptual framework on the terminology related to forest restoration; b) highlighting the importance of silviculture as a tool for the restoration of forests; and c) recommending some basic questions that help professionals and technicians linked to forest restoration, to dimension the required efforts to apply restoration. Forest restoration in Chile should be based on a pragmatic and functional paradigm that includes a wide range of options or strategies dealing with transformed or degraded forest ecosystems, including ecological restoration, rehabilitation, reconstruction, replacement and conversion. Depending on the initial state in which the ecosystem is and the target state, some of these options will lead the ecosystem back to its historical state and others only will seek to restore some attributes. In this context, silviculture is the key to enrich the concepts of forest restoration, translating these into strategies, techniques and real practical solutions.

Key words: structural attributes, degraded forests, Chile, structural complexity, forest management.

RESUMEN

En el contexto de la restauración de bosques, la silvicultura tiene como propósito primordial aumentar el nivel de biodiversidad y complejidad estructural en bosques adultos degradados, en bosques secundarios (de densidad normal y degradados), en bosques quemados y en plantaciones, para mejorar su funcionalidad ecológica y, en consecuencia, incrementar los potenciales bienes y servicios ecosistémicos desde estos bosques. Este trabajo tiene por objetivo: a) proporcionar un marco conceptual sobre la terminología relacionada con la restauración de bosques; b) resaltar la importancia de la silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados; y c) recomendar algunas preguntas básicas que ayuden a profesionales y técnicos a dimensionar adecuadamente los esfuerzos requeridos para la restauración. La restauración de bosques en Chile debiera estar basada en un paradigma pragmático y funcional que incluya un amplio rango de opciones o estrategias que tratan con bosques transformados o degradados, tales como restauración ecológica, rehabilitación, reconstrucción, reemplazo y conversión. Algunas de estas opciones llevarán al ecosistema de vuelta a su trayectoria histórica y otras solamente buscarán restaurar algunos atributos, lo que dependerá del estado inicial en el que se encuentra el ecosistema y la meta u objetivo planificado. En este contexto, la silvicultura es clave para enriquecer los conceptos de la restauración de bosques, traduciendo estos en estrategias, técnicas y soluciones prácticas reales.

Palabras clave: atributos estructurales, bosques degradados, Chile, complejidad estructural, manejo forestal.

INTRODUCCIÓN

El incremento significativo del impacto humano sobre los bosques y la creciente escasez de madera en algunas regiones del mundo, fue la causa principal del nacimiento de la ciencia y práctica de la silvicultura hace más de dos siglos (Puettmann *et al.* 2009). Curiosamente, por razones similares, hace aproximadamente 30 años se empezó a desarrollar el nuevo paradigma de la restauración ecológica (Stanturf *et al.* 2014a). Cuando se trata de restaurar bosques, es decir, manipular la composición, estructura o el crecimiento de estos para direccionar el ecosistema hacia un objetivo determinado, se está aplicando silvicultura (Bauhus *et al.* 2009). La silvicultura busca, entre otras cosas, promover la regeneración arbórea alterando las variables abióticas y bióticas que la afectan (luz, nutrientes, agua, cama de semillas, fuente de semillas, etc.). Debido a esto, el traslape de ambas disciplinas es evidente (Sarr

gica (Stanturf *et al.* 2014a). Cuando se trata de restaurar bosques, es decir, manipular la composición, estructura o el crecimiento de estos para direccionar el ecosistema hacia un objetivo determinado, se está aplicando silvicultura (Bauhus *et al.* 2009). La silvicultura busca, entre otras cosas, promover la regeneración arbórea alterando las variables abióticas y bióticas que la afectan (luz, nutrientes, agua, cama de semillas, fuente de semillas, etc.). Debido a esto, el traslape de ambas disciplinas es evidente (Sarr

et al. 2004). Por esto resulta paradójico que, pese a la importancia y utilidad de la silvicultura para una restauración forestal efectiva (Sarr *et al.* 2004), esta disciplina no ocupe el sitio clave que le corresponde en el debate o discusión sobre la restauración de bosques en Chile. En realidad, la silvicultura constituye la herramienta clave para la restauración de bosques, desde lo más básico, como la aplicación de técnicas eficientes de plantación, hasta complejas aplicaciones como la restauración de bosques degradados o la conversión de plantaciones forestales de especies exóticas hacia bosques naturales (O'Hara 2001).

Producto del rápido avance en restauración de bosques en los últimos años, actualmente en Chile se han acumulado sobre 60 experiencias prácticas y teóricas en diversos tipos de bosques (Smith-Ramirez *et al.* 2015), y se ha constituido la red chilena de restauración ecológica (Bannister *et al.* 2013, Echeverría *et al.* 2015). Sin embargo, el concepto "restauración" abarca muchas situaciones encontradas en la literatura (incluye restauración ecológica, rehabilitación, reconstrucción, reemplazo y conversión, entre otras) y, por eso, la terminología relacionada con este concepto ha sido indistintamente usada, generando confusión a profesionales que recuperan bosques en la práctica (Stanturf *et al.* 2014b). Debido a esto, antes de empezar un proyecto en que se pretende "restaurar" un bosque degradado, es crucial que exista acuerdo en la terminología básica asociada al concepto de "restauración". De esta forma se tendrá una visión clara con respecto al objetivo final buscado a través de la intervención del ecosistema y, en consecuencia, se sabrá qué monitorear, evaluar y corregir o adaptar en el tiempo.

En función de lo señalado, es necesario aclarar conceptos y aproximaciones vinculados a la restauración, y dimensionar los aportes de la teoría y práctica de la silvicultura para enfrentar exitosamente iniciativas conducentes a restaurar bosques degradados. La presente opinión tiene por objetivos: a) proporcionar un marco conceptual sobre la terminología relacionada con la restauración de bosques, facilitando así la discusión y toma de decisiones sobre el tema; b) resaltar la importancia de la silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados, usando como ejemplo sus principales aplicaciones en Chile; y c) recomendar algunas preguntas básicas que debieran hacerse los profesionales y técnicos ligados al área de la restauración de forma de dimensionar adecuadamente los esfuerzos requeridos para ejecutar una actividad en terreno.

HACIA UN DIAGRAMA CONCEPTUAL SOBRE RESTAURACIÓN DE BOSQUES

Actualmente, en el paisaje del sur de Chile existe una gran superficie de bosques nativos degradados antrópicamente y aproximadamente 2,5 millones de hectáreas de plantaciones forestales de especies exóticas (INFOR 2014). En este contexto, la restauración incluye un amplio rango de opciones o estrategias que tratan con bosques transformados o degradados (Aronson *et al.* 2014, Stanturf *et al.*

2014b). Algunas de estas opciones llevarán al ecosistema de vuelta a su trayectoria histórica, y otras permitirán la restauración de solo algunos atributos, pero su intención es que el valor ecológico o productivo final sea mayor que el del ecosistema degradado o transformado (Aronson *et al.* 2014).

Por este motivo, es importante estandarizar la terminología relacionada a la restauración de bosques y sus estrategias. Teniendo en cuenta la realidad del sector forestal chileno en el siglo XXI, caracterizado por múltiples situaciones que requieren esfuerzos de restauración, la restauración de bosques en Chile debiera estar basada en un enfoque pragmático, amplio y funcional (Stanturf *et al.* 2014ab). En consecuencia, la "restauración ecológica", cuyo propósito es recuperar los atributos del ecosistema histórico o previo a la alteración, debe ser entendida solo como una estrategia específica dentro de un amplio abanico de estrategias de restauración (Stanturf *et al.* 2014b). Otras estrategias, en tanto, pretenden llevar el ecosistema degradado a uno menos degradado. Por ello, la terminología va a depender del punto inicial donde se encuentra el ecosistema y el punto final al que se pretende llegar, además de los objetivos de quien planea hacer la restauración (producción, preservación, etc.).

Un diagrama conceptual sobre la restauración de bosques, basado en Stanturf (2005) y adaptado a la realidad chilena (figura 1), propone tomar en cuenta las relaciones entre cambios de uso del suelo (deforestación) y cobertura boscosa (degradación). Según este diagrama, la trayectoria de la degradación tiene como punto de partida un bosque idealizado "Ω" y avanza hacia un estado "A" a través de estados intermedios (B₁, B₂, B₃), representando "A" un sitio extremo deforestado y convertido a otro uso de suelo. Todos estos estados representan puntos de inicio para trayectorias de restauración. El trayecto entre "A" y "Ω" representa lo que estrictamente se entiende como "restauración ecológica", proceso a través del cual se pretende recrear el ideal de ecosistema, es decir, que a futuro retome su trayectoria ecológica natural, de preferencia hacia un estado similar al previo a la degradación. La reconstrucción, por su parte, se refiere a la restauración de ecosistemas bajo usos de suelo distintos al forestal (agricultura, zona urbana, etc.) a través de plantaciones o invasión natural. El punto final de una reconstrucción puede ser cualquiera de los estados "B", por ejemplo, un bosque natural de baja diversidad (B₂) o una plantación mixta de especies nativas (B₃). La rehabilitación de bosques, en tanto, tiene su punto de inicio en alguno de los estados intermedios (B₁, B₂, B₃), los cuales se caracterizan por una cobertura boscosa degradada, no obstante no ha ocurrido un cambio del uso del suelo. Rehabilitación abarca una serie de técnicas para restaurar la estructura, composición florística y regímenes de disturbios. En los casos de rehabilitación, el objetivo es llegar a estados de mayor complejidad (B₁, B₂), pero no necesariamente al supuesto estado histórico previo a la perturbación del ecosistema. Alternativamente, un sitio puede estar tan degradado que puede ser necesario

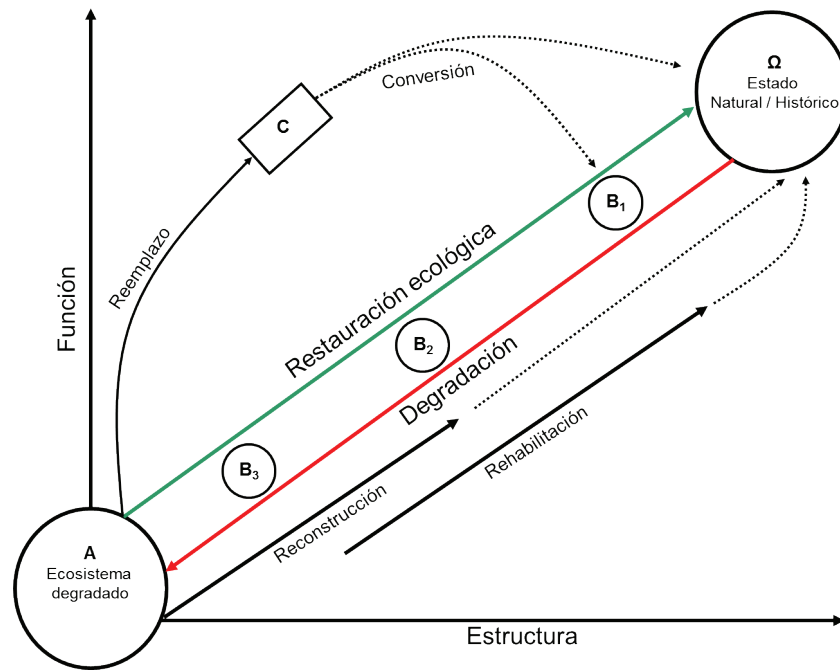


Figura 1. Diagrama conceptual que resume los enfoques asociados a la restauración de bosques desde un punto de vista amplio, en que se entiende la restauración (verde) en una relación simétrica con la degradación (rojo). Líneas punteadas representan trayectorias potenciales (ver texto). Modificado de Stanturf (2005).

Conceptual diagram that summarizes the associated approaches to forest restoration from a broad point of view, that understands the restoration (green) in a symmetrical relationship with the degradation (red). Dotted lines represent potential trajectories (see text). Modified from Stanturf (2005).

reemplazar especies nativas por exóticas para recuperar la productividad del sitio (Jacobs *et al.* 2015). En estos casos esta acción se llama “reemplazo” y su punto final sería “C”. No obstante, a través de la “conversión”, también se puede llevar a estos sistemas reemplazados a estados cercanos al natural o histórico. Esto último también podría suceder con el tiempo, potencialmente con la rehabilitación y reconstrucción, si es que se cambian los objetivos a largo plazo, luego de éxitos en el mediano plazo (líneas punteadas de figura 1).

IMPORTANCIA DE LA SILVICULTURA EN LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES

En la zona de bosques templados de Chile existen principalmente cuatro situaciones que ameritan esfuerzos de restauración de bosques: bosques adultos degradados, bosques secundarios (tanto de densidad normal como degradados), bosques quemados, y plantaciones de especies exóticas (cuadro 1, figura 2).

La restauración de bosques adultos o secundarios degradados, y bosques quemados, que se encuentran en un estado alternativo estable, es decir, donde este no será capaz en el corto plazo de recuperar la composición ni la estructura original (o cercana a ello), corresponde a una de las situaciones más comunes donde es necesario restaurar la capacidad de regeneración de las especies desea-

das en el sistema, por vía natural o artificial. El principal desafío es restaurar la funcionalidad de estos bosques en base a la promoción de atributos estructurales y de composición (Bauhus *et al.* 2009, Donoso *et al.* 2014). En este contexto, el establecimiento de plantaciones nativas (complementarias a la regeneración natural) en grupos distribuidos dentro de la matriz de bosque degradado o bosque quemado, es una prometedora opción para incrementar de forma activa la diversidad de especies arbóreas tanto entre como dentro de los grupos (aparte de imitar los patrones espaciales de muchas especies), y tiene a largo plazo un efecto positivo a nivel de paisaje por su influencia en el área no plantada al dispersar semillas (Saha 2012, Bannister 2015). Además, la conservación de legados biológicos en el sistema, como árboles semilleros o de gran tamaño y pequeños fragmentos de bosques dentro de la matriz de bosque degradado o quemado, pueden ser considerados para apoyar pasivamente la restauración del bosque. En el caso particular de los bosques secundarios densos y de baja complejidad estructural estos pueden requerir esfuerzos de restauración hacia ecosistemas más complejos, especialmente en regiones con escasez de bosques adultos, para lo cual son buenas opciones los raleos de restauración y de densidad variable que generan o promueven atributos de bosques adultos (Donoso *et al.* 2014). Finalmente, existen una serie de aproximaciones silviculturales para la conversión gradual de monocultivos de especies exóticas

Cuadro 1. Principales condiciones de bosques nativos degradados del sur de Chile que requieren definir estrategias de restauración, y aproximaciones silviculturales para enfrentar estas situaciones.

Main conditions of degraded native forests in southern Chile that require restoration strategies, and silvicultural approaches to address these situations.

| Situación | Descripción | Efectos de la degradación | Alternativas de silvicultura para la restauración |
|--|--|--|--|
| Bosques adultos y secundarios degradados | Bosques adultos y secundarios degradados sometidos a sucesivas cortas sin criterios silviculturales (floreos). Por eso han perdido su composición, estructura y función, y no son capaces de regenerarse naturalmente en el corto plazo. | Limitada o nula capacidad de regeneración de sus principales especies arbóreas en el corto plazo debido a la dominancia de especies arbustivas altamente competidoras y, a veces, a la pérdida de fuentes de propágulos. | Manipulación del dosel arbóreo y el dosel arbustivo de especies competidoras y/o invasivas, y potencialmente el suelo, para promover la regeneración del bosque por vía natural o con plantación complementaria. |
| Bosques secundarios densos | Bosques relativamente jóvenes, de estructura y composición simple (baja complejidad), resultantes de acciones antrópicas en bosques adultos en el pasado. | Funcionalidad (y servicios ecosistémicos) asociada a bosques de baja complejidad. | Aplicar raleos de restauración y/o de densidad variable para generar atributos de bosques adultos. |
| Bosques quemados | Bosques nativos quemados por el ser humano, que han perdido su composición, estructura y función, y no son capaces de regenerarse naturalmente en el corto plazo. | Luego de décadas existe escasa regeneración de las especies originales y sin intervención humana no podrán recuperarse pasivamente en corto o mediano plazo. | Combinar técnicas pasivas y activas, estableciendo por ejemplo plantaciones en grupos distribuidos en el paisaje quemado, las cuales apoyen la regeneración natural entre grupos. |
| Plantaciones de especies exóticas | Plantaciones jóvenes (< 25 años) establecidas luego de sustituciones de bosques nativos y que tienen abundante regeneración de especies nativas en su interior. | Se pueden considerar bosques degradados donde no hay opciones futuras de desarrollo para la regeneración establecida de especies nativas de no mediar una conversión. | Convertir a bosques nativos a través de su cosecha gradual o total, promoviendo el desarrollo de la regeneración establecida y futura de especies nativas a través de diversas fuentes de propágulos internas o perimetrales, o a partir de enriquecimiento. |

(*Pinus radiata* D. Don y *Eucalyptus* spp.) a bosques nativos o mixtos (cuadro 1). Es importante señalar que en todos los casos anteriores, nada funcionará, si el agente de degradación no es eliminado del sistema, como sucede por ejemplo con el ganado dentro del bosque (Zamorano *et al.* 2014). En resumen, en las cuatro situaciones señaladas se requerirá de modo fundamental aplicar múltiples estrategias y técnicas silviculturales para restaurar los bosques nativos. En el desarrollo de estos procesos, será necesario buscar alternativas al manejo de bosques coetáneos, paradigma dominante de la silvicultura focalizada históricamente en la producción de madera y fibra, dirigiendo a la silvicultura hacia el nuevo paradigma del manejo de bosques como sistemas adaptativos complejos (*sensu* Puettmann *et al.* 2009, Messier *et al.* 2013), a los que se asocia la silvicultura alternativa (Puettmann *et al.* 2015). Todos los tipos de bosques presentan propiedades de ecosistemas forestales adaptativos complejos (con comportamientos no-lineales y difícilmente predecibles) y, por tal motivo, la silvicultura debiera maximizar las propiedades más importantes de este tipo de sistemas, de manera que: a) sean

más diversos en composición y estructura; b) se integren mejor con otros elementos forestales en el paisaje; c) tengan mejor capacidad de auto-regulación; y d) sean capaces de adaptarse a rápidos cambios en las condiciones sociales y ambientales futuras (Messier *et al.* 2013). De esta forma, se estarían restaurando sistemas complejos y fomentando la provisión de servicios ecosistémicos a distintas escalas (local a global), lo que es esencial para la adaptación al cambio climático (Harris *et al.* 2006). Para lograr esta adaptación es indispensable considerar también aspectos genéticos, lo que de no ser considerado frecuentemente es causa de fracasos en la restauración (Thomas *et al.* 2014). Por este motivo, Thomas *et al.* (2014) recomiendan a) coleccionar y propagar germoplasma de tal forma de asegurar una base genética amplia de poblaciones, b) hacer coincidir para un sitio, especies y procedencias con base en condiciones de sitio actuales y futuras, rangos de variación y fuentes de semilla, y c) planificar la restauración a nivel de paisaje para favorecer conectividad e integración entre fragmentos. En definitiva, la silvicultura como eje central del manejo forestal sustentable, está llamada a ser prota-

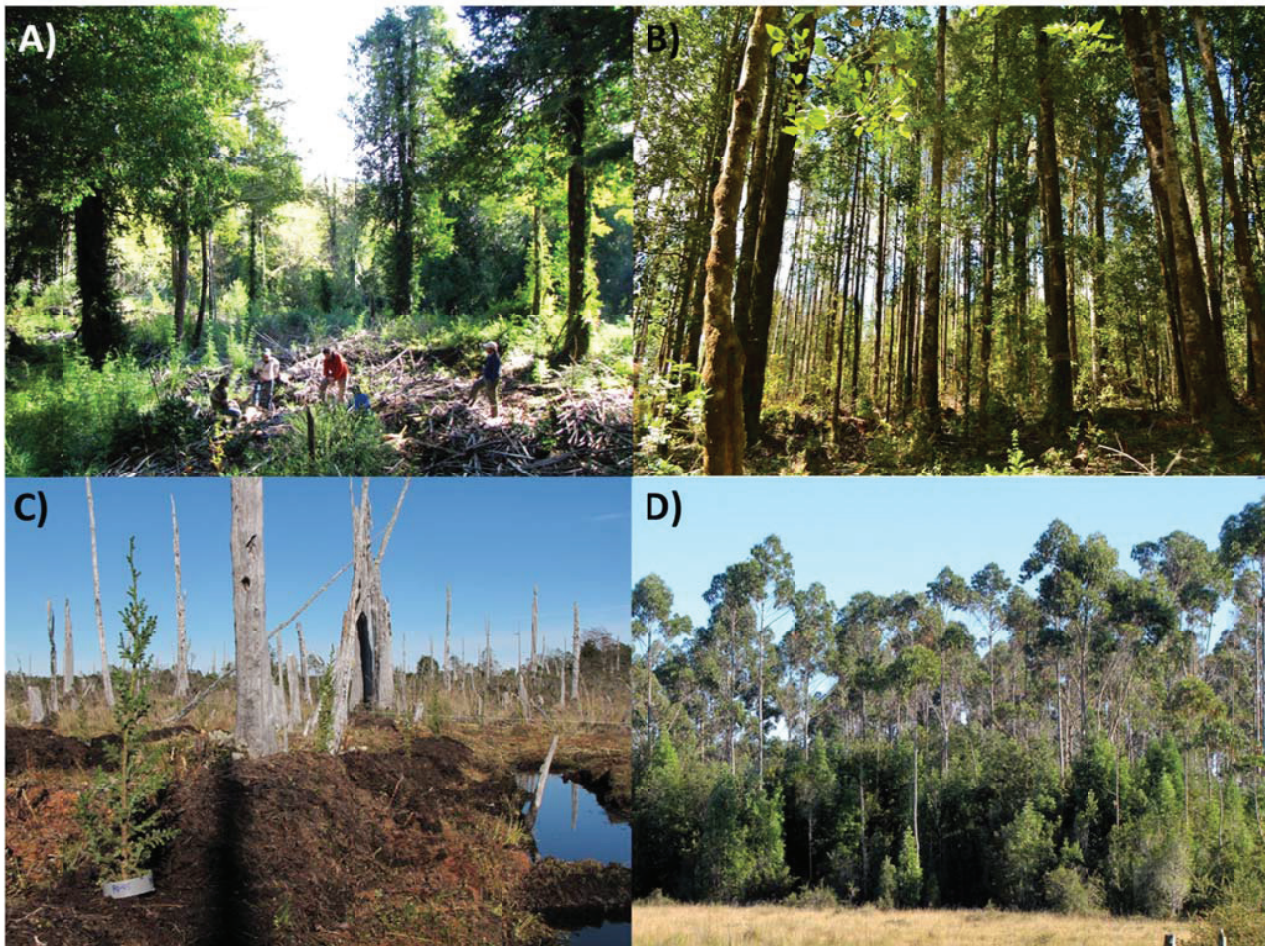


Figura 2. Principales condiciones de bosques nativos degradados del sur de Chile y ejemplos de cómo la silvicultura sirve como herramienta para su restauración A) Liberación de *Chusquea* spp. y plantación complementaria en bosques nativos adultos degradados, San Pablo de Tregua, Cordillera de Los Andes. B) Raleos de restauración en bosques secundarios de *Drimys winteri* J.R. Forst. et G. Forst., Llancahue, Valdivia. C) Plantación en grupos de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en bosques quemados, Lago Chaiguata, Chiloé. D) Monocultivos de *Eucalyptus* spp. con sotobosque de especies nativas que facilita el proceso de conversión hacia bosques nativos, Las Compuertas, Chiloé. Fotos: Pablo Donoso (B) y Jan Bannister (ACD).

Main conditions of degraded native forests in southern Chile and examples of how forestry serves as a tool for restoration: A) Release of *Chusquea* sp. and supplementary planting in degraded old-growth forests, San Pablo de Tregua, Cordillera de Los Andes; B) Restoration thinning in secondary forests of *Drimys winteri*, Llancahue, Valdivia; C) Cluster plantings of *Pilgerodendron uviferum* in burned forests, Lago Chaiguata, Chiloé; D) *Eucalyptus* spp. monoculture with native understory species, ideal to be gradually converted into native forest, Las Compuertas, Chiloé.

gonista en este nuevo paradigma, como herramienta que incrementa la efectividad de las técnicas de restauración, mezclando técnicas pasivas y activas a nivel de paisaje, y operacionalizando iniciativas de restauración en bosques nativos (Bannister 2015), en forma diferenciada de acuerdo al tipo de bosque a restaurar (figura 2) y las metas o alcances de dicho proceso (figura 1).

RECOMENDACIONES BÁSICAS: ¿POR DÓNDE EMPEZAR?

Restaurar bosques no es solamente plantar árboles. Muchas veces las iniciativas de restauración son extremadamente costosas en recursos económicos, y los resultados

son casi siempre inciertos, especialmente cuando corresponden a iniciativas de restauración en bosques con baja resiliencia, alta degradación y ubicados en zonas remotas (Bannister 2015). En este contexto, la silvicultura es una disciplina de las ciencias forestales clave en el proceso de razonamiento previo a la implementación de acciones de restauración, ya que contempla estrategias y técnicas validadas para la regeneración de especies arbóreas, basadas en el conocimiento de la autoecología de las especies, y de la ecología y dinámica de los bosques. Este conocimiento es básico para restaurar ecosistemas forestales resistentes, resilientes y con gran capacidad adaptativa a cambios ambientales futuros. Adicionalmente, el entendimiento de los procesos que ocurren en bosques alterados y prístinos per-

mitiría mejorar la planificación y posterior efectividad de las acciones de restauración. Existen preguntas básicas que pueden ayudar significativamente a que esto ocurra, ayudando a que profesionales puedan definir adecuadamente desde el inicio los objetivos de la estrategia de restauración que se desea ejecutar. Basándose en Holl y Aide (2011), se presenta una lista de preguntas (cuadro 2) que pueden orientar mejor la planificación de actividades y definición de objetivos. Las preguntas 1 a 3 implican tener un conocimiento sólido de ecología forestal. Las preguntas 4 a 8 pueden ser abordadas de mejor forma cuanto mayor sea la experiencia en silvicultura en una región. Se recomienda, en consecuencia, que los profesionales ligados a restauración de bosques realicen este proceso de razonamiento

previo a ejecutar actividades de restauración, y usen el conocimiento de la silvicultura generado en décadas de investigación, de modo de hacer más eficientes y eficaces las iniciativas de restauración a futuro en cualquiera de los escenarios de bosques señalados (cuadro 1).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a DP Soto, NV Carrasco-Farias y K Kremer y tres revisores anónimos por sus valiosos comentarios a las versiones iniciales de este manuscrito. Además JR Bannister agradece el financiamiento del proyecto CONICYT-PAI Folio N°821320007, y PJ Donoso al proyecto FONDECYT N°1110744.

Cuadro 2. Preguntas clave en el proceso de razonamiento que se deben realizar al iniciar la planificación de un programa de restauración. *Preguntas modificadas de Holl y Aide (2011).

Key questions in the process of reasoning to be done prior to start planning a restoration program. *Modified questions from Holl and Aide (2011).

| Preguntas clave |
|--|
| 1. ¿La alteración que se observa en terreno fue de origen natural o antrópico? |
| 2. ¿Cuáles son los nichos ecológicos de las diferentes especies en estos bosques en condiciones inalteradas? |
| 3. ¿Cuáles son los nichos ecológicos de las distintas especies en las condiciones alteradas actuales? |
| 4. Si se realizaran acciones pasivas de restauración, ¿qué resultados se pueden esperar?* |
| 5. Basado en las cuatro preguntas anteriores, ¿cuál puede ser el objetivo de la restauración? |
| 6. ¿Existen legados biológicos que puedan apoyar la restauración del ecosistema alterado de tal forma de llegar a este objetivo? |
| 7. Si la intervención es necesaria, ¿cómo y cuándo se debería intervenir para lograr los objetivos de la restauración?* |
| 8. ¿Cómo pueden ser utilizados los recursos destinados a la restauración de forma más eficiente a escala de paisaje o regional?* |

REFERENCIAS

- Aronson J, C Murcia, GH Kattan, D Moreno-Mateos, K Dixon, D Simberloff. 2014. The road to confusion is paved with novel ecosystem labels: a reply to Hobbs *et al.* *Trends in Ecology and Evolution* 29:646-647.
- Bannister J. 2015. Recuperar bosques no es solo plantar árboles: lecciones aprendidas luego de 7 años restaurando bosques de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en Chiloé. *Anales del Instituto de la Patagonia* 43:35-51.
- Bannister J, ME González, C Little, AG Gutierrez, PJ Donoso, R Mujica, S Müller-Using, A Lara, MA Bustamante-Sanchez, A Bannister, A Caracciolo, J Echeverría, J Suárez, C Zambrano. 2013. Experiencias de restauración en los bosques nativos del sur de Chile: Una mirada desde la Isla Grande de Chiloé. *Revista Bosque Nativo* 52:35-43.
- Bauhus J, K Puettmann, C Messier. 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* 258:525-537.
- Donoso PJ, C Frene, M Flores, C Oyarzún, M Moorman, J Zavaleta. 2014. Balancing water supply and old-growth forest conservation in the lowlands of south-central Chile through an adaptive co-management approach. *Landscape Ecology* 29:245-260.
- Echeverría C, C Smith-Ramírez, J Aronson, JI Barrera-Cataño. 2015. Good news from Latin America and the Caribbean: national and international restoration networks are moving ahead. *Restoration Ecology* 23:1-3.
- Harris JA, RJ Hobbs, E Higgs, J Aronson. 2006. Ecological Restoration and Global Climate Change. *Restoration Ecology* 14:170-176.
- Holl KD, TM Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261:1558-1563.
- INFOR (Instituto Forestal, CL). 2014. El sector forestal chileno 2014. Santiago de Chile, Instituto Forestal. 48 p.
- Jacobs DF, JA Oliet, J Aronson, A Bolte, JM Bullock, PJ Donoso, SM Landhäusser, P Madsen, S Peng, JM Rey-Benayas, JC Weber. 2015. Restoring forests: What constitutes success in the twenty-first century? *New Forests* 46: 601-614.
- Messier C, KJ Puettmann, KD Coates. 2013. Managing forests as complex adaptive systems: Building resilience to the challenge of global change. New York, USA. Routledge Chapman & Hall. 368 p.
- O'Hara KL. 2001. The silviculture of transformation - a commentary. *Forest Ecology and Management* 151: 81-86.
- Puettmann K, KD Coates, C Messier. 2009. A critique of silviculture: managing for complexity. Washington, USA. Island Press. 206 p.
- Puettmann KJ, SM Wilson, SC Baker, PJ Donoso, L Drössler, G Amente, BD Harvey, T Knoke, Y Lu, S Nocentini, FE Putz, T Yoshida, J Bauhus. 2015. Silvicultural alternatives

- to conventional even-aged forest management - what limits global adoption? *Forest Ecosystems* 2:1-16.
- Saha S. 2012. Development of tree quality, productivity, and diversity in oak (*Quercus robur* and *Q. petraea*) stands established by cluster planting. PhD Thesis. Freiburg, Alemania. Albert-Ludwigs Universität Freiburg. 105 p.
- Sarr D, K Puettmann, R Pabst, M Cornett, L Arguello. 2004. Restoration Ecology: New Perspectives and Opportunities for Forestry. *Journal of Forestry* 102:20-24.
- Smith-Ramírez C, ME González, C Echeverría, A Lara. 2015. Estado actual de la restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos. *Anales del Instituto de la Patagonia* 43:11-21.
- Stanturf J. 2005. What is forest restoration? In Stanturf J eds. Restoration of Boreal and Temperate Forests. Boca Raton, USA. CRC Press. p. 3-11.
- Stanturf JA, BJ Palik, MI Williams, RK Dumroese, P Madsen. 2014a. Forest restoration paradigms. *Journal of Sustainable Forestry* 33:S161-S194.
- Stanturf JA, BJ Palik, RK Dumroese, 2014b. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. *Forest Ecology and Management* 331:292-323. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.07.029
- Thomas E, R Jalonen, J Loo, D Boshier, L Gallo, S Cavers, S Bordács, P Smith, M Bozzano. 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333:66-75. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.07.015
- Zamorano-Elgueta C, L Cayuela, JM Rey-Benayas, PJ Donoso, D Geneletti, RJ Hobbs. 2014. The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: A landscape approach. *Ecosphere* 5(7): 1-17. DOI: 10.1890/ES14-00003.1

Recibido: 23.06.15
Aceptado: 14.01.16

