

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION

PRINCIPIOS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES PARA LA PRÁCTICA DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

SEGUNDA EDICIÓN: Noviembre 2019

George D. Gann, Tein McDonald, Bethanie Walder, James Aronson, Cara R. Nelson, Justin Jonson, James G. Hallett, Cristina Eisenberg, Manuel R. Guariguata, Junguo Liu, Fangyuan Hua, Cristian Echeverría, Emily Gonzales, Nancy Shaw, Kris Decleer, and Kingsley W. Dixon

ORGANIZADORES

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

SUSCRIBEN

© 2019 Society for Ecological Restoration. El formato de este documento y el uso de imágenes difieren, pero el contenido es idéntico a: Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decleer K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* 27(S1): S1–S46.

Restoration Ecology es publicada por Wiley Periodicals, Inc. a nombre de la Sociedad para la Restauración Ecológica. Éste es un artículo de acceso abierto con Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento-No Comercial de Creative Commons, que permite su uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original esté debidamente citada y no se utilice con fines comerciales.

AUTORES

George D. Gann
The Institute for Regional Conservation, Delray Beach, FL 33483, U.S.A.; Society for Ecological Restoration, Washington, D.C. 20005, U.S.A.

Tein McDonald
Society for Ecological Restoration Australasia,10 East St, Cooma, NSW 2630, Australia

Bethanie Walder
Society for Ecological Restoration, Washington, DC 20005, U.S.A.

James Aronson
Center for Conservation and Sustainable Development, Missouri Botanical Garden, St Louis, MO 63166, U.S.A.

Cara R. Nelson
Department of Ecosystem and Conservation Sciences, Franke College of Forestry and Conservation, University of MT, Missoula, MT 59812, U.S.A.; Ecosystem Restoration Thematic Group, Commission on Ecosystem Management, International Union for Conservation of Nature, 1196 Gland, Switzerland

Justin Jonson
Threshold Environmental, PO Box 1124, Albany, WA 6331, Australia

James G. Hallett
Society for Ecological Restoration, Washington, DC 20005, U.S.A.

Cristina Eisenberg
Oregon State University, College of Forestry, Department of Forest Ecosystems and Society, Corvallis, OR 97331, U.S.A.

Manuel R. Guariguata
Center for International Forestry Research, Av. La Molina 1895, Lima, Peru

AUTORES

Junguo Liu
School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China; Society for Ecological Rehabilitation of Beijing, Beijing, China

Fangyuan Hua
Institute of Ecology, Peking University, Haidian Road, Beijing, China 100871; Department of Zoology, University of Cambridge, Cambridge, CB2 3EJ, United Kingdom

Cristian Echeverría
Laboratory of Landscape Ecology, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

Emily Gonzales
Parks Canada, 300-300 West Georgia St, Vancouver, BC V6B 6B4, Canada

Nancy Shaw
Grassland, Shrubland and Desert Ecosystem Research, USFS Rocky Mountain Research Station, 322 E. Front Street, Suite 401, Boise, ID 83702, U.S.A.

Kris Decleer
Research Institute for Nature and Forest, Herman Teirlinckgebouw, Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussels, Belgium
Society for Ecological Restoration - Europe

Kingsley W. Dixon
ARC Centre for Mine Site Restoration, School of Molecular and Life Sciences, Curtin University, Bentley, WA 6102, Australia

Contribuciones de los autores

GDG, TM, y BW coordinaron la producción del documento y solicitaron revisiones de la primera edición y los borradores siguientes. GDG, TM, BW, JA, CRN, JJ, JGH, CE, MRG, JL, FH, CE, EG, y KWD escribieron secciones del texto. JGH editó y revisó el documento. NS y KD aclararon secciones del texto.

ÍNDICE

Autores — 3
Acerca de la Sociedad para la Restauración Ecológica — 6
Elaboración del documento — 7
Resumen ejecutivo — 12

Sección 1: Introducción — 15

Sección 2: Ocho principios que fundamentan la restauración ecológica — 21

Principio 1: La restauración ecológica involucra a las partes interesadas — 22
Principio 2: La restauración ecológica hace uso de muchos tipos de conocimiento — 27
Principio 3: La práctica de la restauración ecológica se sustenta en la información de los ecosistemas de referencia nativos, al tiempo que considera el cambio ambiental — 31
Principio 4: La restauración ecológica apoya los procesos de recuperación de los ecosistemas — 37
Principio 5: La recuperación de los ecosistemas se evalúa en función de objetivos y metas claros, utilizando indicadores medibles — 39
Principio 6: La restauración ecológica busca el nivel más alto de recuperación posible — 46
Principio 7: La restauración ecológica gana valor acumulado cuando se aplica a grandes escalas — 53
Principio 8: La restauración ecológica es parte de un continuo de actividades recuperativas — 57

Sección 3: Estándares de práctica para la planificación e implementación de proyectos de restauración ecológica — 63

1. Planificación y diseño — 63
2. Implementación — 69
3. Monitoreo, documentación, evaluación y presentación de informes — 70
4. Mantenimiento posterior a la implementación — 73

Sección 4: Prácticas destacadas — 74

Parte 1: Desarrollo de modelos de referencia para la restauración ecológica — 74
Parte 2: Identificación de enfoques adecuados de restauración ecológica — 77
Parte 3: El papel de la restauración ecológica en las iniciativas globales de restauración — 79

Sección 5: Glosario de términos — 87
Literatura citada — 97
Anexo 1: Selección de semillas y otros propágulos para la restauración — 103
Anexo 2: Formatos de evaluación de proyectos (para uso de los practicantes) — 111

ACERCA DE LA SOCIEDAD PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

ACERCA DE NUESTRA ORGANIZACIÓN

La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) es una organización internacional sin ánimo de lucro con miembros en 70 países. La SER promueve el avance en la ciencia, la práctica y la política de la restauración ecológica para mantener la biodiversidad, mejorar la resiliencia frente al cambio climático y restablecer una relación ecológica saludable entre naturaleza y cultura. La SER es una red global dinámica, que une a investigadores, practicantes, administradores de la tierra, líderes comunitarios y tomadores de decisiones para restaurar los ecosistemas y las comunidades humanas que dependen de ellos. A través de nuestros miembros, publicaciones, conferencias, trabajo normativo y divulgación, la SER define y ofrece excelencia en el campo de la restauración ecológica.

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Society for Ecological Restoration
1133 15th St. NW, Suite 300
Washington, DC 20005, USA
info@ser.org

www.SER.org

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

Los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica (los Estándares) fueron elaborados mediante consultas a profesionales de la Sociedad para la Restauración Ecológica y a sus pares en las comunidades científicas y de conservación mundiales. La primera edición se lanzó en 2016 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Biodiversidad en Cancún, México. Este evento reunió a las partes interesadas clave en el ámbito de la política internacional, muchas de las cuales han sido fundamentales para impulsar las iniciativas globales para implementar programas de restauración ambiental a gran escala. Debido a que los Estándares se redactaron como un documento vivo que puede ser modificado y ampliado mediante la consulta y el uso por las partes interesadas, el lanzamiento incluyó una invitación abierta a los aportes de las partes interesadas, tanto para mejorar el documento como para promover su uso amplio. Posteriormente, durante un periodo de consulta de varios años, la SER solicitó los aportes y revisiones de un espectro amplio de personas y organizaciones que contribuyen a la restauración ecológica. Las partes interesadas clave contactadas para obtener comentarios incluyeron a la secretaría del Convenio sobre la Biodiversidad Biológica (CDB), la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (CNULD) incluida su interfaz de ciencia-política, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), el Banco Mundial y los miembros de la Alianza Mundial para la Restauración del Paisaje Forestal (GPFLR). En 2017, la SER se asoció con la Comisión de Gestión de Ecosistemas (CGE) de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza



Flora y fauna, Wisconsin, USA.
Foto de Stephen Glass

(UICN), para lanzar un Foro sobre Biodiversidad y Restauración Forestal Mundial, en el que se revisaron los Estándares de la SER (SER y UICN-CEM 2018). La SER también organizó un simposio sobre los Estándares de la SER y un Café de Conocimientos en la Conferencia Mundial sobre Restauración Ecológica de 2017. Se recibieron aportes adicionales en otros eventos, incluida la 9a Conferencia Mundial de la Alianza de Servicios en Shenzhen, China en 2017. Para captar las perspectivas de la comunidad internacional, la SER invitó a participar con opiniones en su sitio web y envió una encuesta en línea a sus miembros, afiliados y partes interesadas. La SER también ha considerado y respondido a los comentarios de las críticas publicadas en su revista, *Restoration Ecology*

Todos los comentarios recibidos durante el proceso de consulta fueron considerados en el proceso de revisión. La segunda edición de los Estándares fue aprobada por el Comité de Ciencia y Política de la SER y por la Junta Directiva de la SER el 18 de junio de 2019. Al igual que la primera edición, esta versión se revisará y mejorará a medida que la disciplina evolucione a través de la ciencia, la práctica y el manejo adaptativo..

Los Estándares son compatibles y amplían los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación (Alianza para las Medidas de Conservación 2013), y complementan los Estándares Sociales y Ambientales del Mecanismo de Reducción de las Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD+ SES 2012), y otros estándares y lineamientos de conservación.

COLABORADORES

Levi Wickwire brindó asistencia durante la elaboración del documento. Karen Keenleyside añadió contenido a la versión original. La inspiración y las ideas de Andre Clewell llevaron a la lista de atributos y la rueda de recuperación (Fig. 4, Anexo 2), Kayri Havens ayudó a adaptar el Anexo 1 sobre selección de semillas y otros propágulos y Craig Beatty contribuyó a la Sección 4, Parte 3 sobre las iniciativas mundiales de restauración. Agradecemos a los siguientes traductores de la primera edición: Claudia Concha, Marcela Bustamante y Cristian Echeverría (Español); Ricardo Cesar (Portugués);

Narayana Bhat (Árabe); Jaeyong Choi (Coreano); Junguo Liu (Chino); y Jean-François Alignan, Julie Braschi, Élise Buisson, Jacqueline Buisson, Manon Hess, Renaud Jaunatre, Maxime Le Roy, Sandra Malaval, y *Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration* (REVER) (Francés). Gracias a Little Gecko Media (Australia), Peter de Albuquerque (Brasil) por los gráficos y a Samara Group (EE.UU.) por los gráficos y el diseño.

REVISORES

Muchos expertos internacionales brindaron sugerencias para la elaboración de la segunda edición. Reconocemos a muchos aquí, pero es posible que sin querer falten algunas personas. Las opiniones expresadas aquí son las de los autores y no necesariamente las de los revisores. Sasha Alexander, Mariam Akhtar-Schuster, Craig Beatty, Consuelo Bonfil, Karma Bouazza, Elise Buisson, Andre Clewell, Jordi Cortina, Donald Falk, Marco Fioratti, Scott Hemmerling, Richard Hobbs, Karen Holl, Berit Köhler, Nik Lopoukhine, Graciela Metternicht, Luiz Fernando Moraes, Stephen Murphy, Michael Perring, David Polster, Karel Prach, Anne Tolvanen, Alan Unwin, Ramesh Venkataraman, Steve Whisenant, Andrew Whitley y Shira Yoffe proporcionaron revisiones críticas. Jena Santoro ayudó con el resumen. El manuscrito publicado se benefició enormemente de la revisión por pares de Karel Prach, Vicky Temperton y Joy Zedler. Su asistencia, dedicación y puntualidad en la revisión del manuscrito fueron incomparables.

Los participantes en el **Foro sobre Biodiversidad y Restauración Mundial de Bosques de la SER y la UICN-CGE**, en Cataratas de Iguazú, Brasil, 2017, ayudaron a aclarar el alcance y el contexto de los Estándares de la SER: Angela Andrade, James Aronson, Rafael Avila, Brigitte Baptiste, Rubens de Miranda Benini, Rachel Biderman, Blaise Bodin, Consuelo Bonfil, Magda Bou Dagher Kharrat, MiHee Cho, Youngtae Choi, Jordi Cortina, Kingsley Dixon, Giselda Durigan, Cristian Echeverría, Steve Edwards, George Gann, Manuel R. Guariguata, Yoly Gutierrez, James Hallett, Ric Hauer, Karen Holl, Fangyuan Hua, Paola Isaacs, Justin Jonson, Won-Seok Kang, Agnieszka Latawiec, Harvey Locke, James McBreen, Tein McDonald, Paula Meli, Jean Paul Metzger, Miguel A. Moraes, Ciro Moura, Cara Nelson,

Margaret O'Connell, Aurelio Padovezi, Hernán Saavedra, Catalina Santamaria, Gerardo Segura Warnholtz, Kirsty Shaw, Nancy Shaw, Bernardo Strassburg, Evert Thomas, José Marcelo, Alan Unwin, Liette Vasseur, Joseph Veldman, Bethanie Walder y Jorge Watanabe

Entre los participantes del **Café de Conocimiento sobre los Estándares Internacionales, en la Conferencia Mundial de Restauración Ecológica SER 2017, Cataratas de Iguazú, Brasil** estuvieron Mitch Aide, Rafael Carlos Ávila-Santa Cruz, Suresh Babu, Blaise Bodin, Craig Beatty, Steve Edwards, George Gann, Angelita Gómez, Emily Gonzales, Justin Jonson, Marion Karmann, Tein McDonald, Cara Nelson, Antonio Ordorica, Claudia Padilla, Liliane Parany, David Polster, Catalina Santamaría, Bethanie Walder, Andrew Whitley, Paddy Woodworth y Gustavo Zuleta.

COMENTARIOS SOBRE LA PRIMERA EDICIÓN PUBLICADA

Se recibieron comentarios valiosos de Constance Bersok, Kris Boody, Zoe Brocklehurst, Elise Buisson, Peter Cale, David Carr, Michael Rawson Clark, Andre Clewell, Adam Cross, María del Sugeyrol Villa Ramírez, Rory Denovan, Giselda Durigan, Rolf Gersonde, Emily Gonzales, Diane Haase, Ismael Hernández Valencia, Eric Higgs, Sean King, Beatriz Maruri-Aguilar, Rob Monico, Michael Morrison, Stephen Murphy, Tom Nedland, J.T. Netherland, Samira Omar, David Ostergren, Glenn Palmgren, Jim Palus, Aviva Patel, David Polster, Jack Putz, Danielle Romiti, George H. Russell, David Sabaj- Stahl, Raj Shekhar Singh, Nicky Strahl, Tobe Query, Edith Tobe, Michael Toohill, Daniel Vallauri, Jorge Watanabe, Jeff Weiss, William Zawacki y Paul Zedler. Cassandra Rosa compiló notas detalladas y revisó los comentarios de más de 100 encuestados de la SER sobre los Estándares.

TRADUCTORES

Dra. Lilia Lisseth Roa Fuentes
Directora Doctorado en Estudios Ambientales y Rurales
Departamento de Ecología y Territorio
Pontificia Universidad Javeriana

Dr. Germán Leonardo Jiménez Romero
Coordinador Unidad de Ecología y Sistemática-UN-ESIS
Departamento de Biología
Pontificia Universidad Javeriana

Gildardo de Jesús Arango
Estudiante Maestría en Restauración Ecológica
Pontificia Universidad Javeriana

Andrea del Pilar García
Estudiante Maestría en Restauración Ecológica
Pontificia Universidad Javeriana

Ana Milena Lozano Melgarejo
Estudiante Maestría en Restauración Ecológica
Pontificia Universidad Javeriana

Revisores

Dra. Consuelo Bonfil
Profesora titular
Facultad de Ciencias
Laboratorio de Ecología de la Restauración
Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Pilar Andres
Senior Scientist
CREAF
08193 Bellaterra, Barcelona, Spain

Coordinador

Dr. José Ignacio Barrera Cataño
Coordinador
Maestría en Restauración Ecológica
Facultad de Ciencias-Faculta de Estudios Ambientales y Rurales
Pontificia Universidad Javeriana

FINANCIAMIENTO

MRG reconoce la financiación del Programa de Investigación CGIAR sobre Bosques, Árboles y Agroforestería. JL agradece el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (41625001) y el Programa de Investigación de Prioridad Estratégica de la Academia de Ciencias Chinas (Beca No. XDA20060402). KWD recibió fondos del Gobierno de Australia a través del Centro de Capacitación en Transformación Industrial del Consejo de Investigación de Australia para la Restauración de Sitios Mineros (número de proyecto ICI150100041). La Sociedad para la Restauración Ecológica recibió financiación para el diseño gráfico y la elaboración del documento de la Fundación Temper of the Times.

RESUMEN EJECUTIVO

La restauración ecológica, siempre que se aplique de manera eficaz y sostenible, contribuye a proteger la biodiversidad; mejorar la salud y el bienestar humanos; aumentar la seguridad alimentaria e hídrica; proporcionar bienes, servicios y prosperidad económica y favorecer la mitigación, resiliencia y adaptación al cambio climático. Se trata de un enfoque basado en soluciones que involucra a comunidades, científicos, legisladores y administradores de tierras, con el propósito de reparar el daño ecológico y reconstruir una relación más saludable entre las personas y el resto de la naturaleza. Cuando se combina con la conservación y el uso sostenible, la restauración ecológica es el vínculo necesario para que las condiciones ambientales locales, regionales y globales pasen de un estado de degradación continua, a uno de mejora positiva neta. La segunda edición de los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica (los Estándares) proporciona un marco de referencia sólido para los proyectos de restauración con el fin de alcanzar los objetivos establecidos, al tiempo que aborda los retos, incluyendo un diseño e implementación efectivos, considerando las dinámicas complejas de los ecosistemas (especialmente en el contexto del cambio climático) y navegando por las disyuntivas asociadas a las prioridades y decisiones de gestión de la tierra.

Los Estándares establecen ocho principios que sustentan la restauración ecológica. Los Principios 1 y 2 articulan importantes fundamentos que guían a la restauración ecológica: involucrar efectivamente a una amplia gama de partes interesadas y utilizar cabalmente el conocimiento científico, tradicional y local disponible, respectivamente. En los Principios 3 y 4 se resume el enfoque central de la restauración ecológica, destacando a los ecosistemas de referencia ecológicamente adecuados como el objeto de la restauración y aclarando el imperativo de que las actividades de restauración apoyen los procesos de recuperación de los ecosistemas. El Principio 5 enfatiza en el uso de indicadores medibles para evaluar el progreso hacia las metas de restauración. El Principio 6 establece el mandato de que la restauración ecológica debe buscar el nivel más alto de recuperación posible. Se proporcionan herramientas para identificar

los niveles de recuperación a los que se aspira y hacer un seguimiento de los avances. El Principio 7 destaca la importancia de la restauración a grandes escalas espaciales para obtener beneficios acumulativos. Finalmente, la restauración ecológica es uno de varios enfoques que abordan el daño a los ecosistemas y el Principio 8 esclarece sus relaciones con enfoques aliados en un "Continuo Recuperativo".



Restauración en acción, Sudáfrica. Foto de Kelvin Trautman

Los Estándares destacan el papel de la restauración ecológica en conectar los objetivos sociales, comunitarios, de productividad y de sostenibilidad. Los Estándares también proporcionan medidas de desempeño recomendadas para las actividades recuperativas para que sean consideradas por las industrias, comunidades y gobiernos. Adicionalmente, los Estándares amplían la lista de prácticas y acciones que guían a los restauradores en las actividades de planificación, implementación y monitoreo. Las prácticas destacadas y la orientación incluyen el debate sobre los criterios adecuados para la evaluación del sitio e identificación de los ecosistemas de referencia, diferentes enfoques de restauración –incluyendo la regeneración natural–, la consideración de la diversidad genética en el marco del cambio climático y el papel de la restauración ecológica en las iniciativas de restauración globales. Esta edición también incluye un glosario ampliado de terminología de restauración.

La SER y sus socios internacionales elaboraron los Estándares para su adopción por comunidades, industrias, gobiernos, educadores y administradores de tierras para mejorar la práctica de la restauración ecológica en todos los sectores y en todos los ecosistemas, terrestres y acuáticos. Los Estándares apoyan el desarrollo de planes de restauración ecológica, contratos, condiciones de consentimiento y criterios de monitoreo y auditoría. De carácter genérico, el marco de los Estándares puede adaptarse a ecosistemas, biomas o paisajes particulares; distintos países o culturas tradicionales. Los Estándares son

ambiciosos y brindan herramientas destinadas a mejorar los resultados, promover las mejores prácticas y ofrecer beneficios ambientales y sociales globales netos. A medida que el mundo entra en la Década de la Restauración Ecológica de las Naciones Unidas (2021-2030), los Estándares brindan un plan de acción para garantizar que la restauración ecológica alcance todo su potencial en la consecución de equidad social y ambiental y, en última instancia, de beneficios y resultados económicos.

1 SECCIÓN 1 - INTRODUCCIÓN

Los Principios y Estándares Internacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica (Los Estándares) brindan una guía a los practicantes, personal operativo, estudiantes, planificadores, directores, reguladores, legisladores, financiadores y agencias implementadoras involucradas en la restauración de ecosistemas degradados en todo el mundo, ya sean terrestres, dulceacuícolas o marino-costeros. Colocan a la restauración ecológica en un contexto global, incluido su papel en la recuperación de la biodiversidad y la mejora del **bienestar**[1] humano en tiempos de rápidos cambios globales.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO MEDIO PARA MEJORAR LA BIODIVERSIDAD Y EL BIENESTAR HUMANO Y SU PAPEL EN INICIATIVAS GLOBALES MÁS AMPLIAS

La humanidad reconoce que los **ecosistemas nativos** del planeta tienen un valor ecológico, social y económico insustituible. Además de su **valor intrínseco**, como la **biodiversidad** y la importancia espiritual o estética, los ecosistemas nativos saludables garantizan el flujo de **servicios ecosistémicos**. Estos servicios incluyen: suministro de agua y aire limpios, suelos saludables, elementos de importancia cultural y alimentos, fibras, combustibles y medicamentos esenciales para la salud, el bienestar y el sustento humano. Los ecosistemas nativos también pueden reducir los efectos de los desastres naturales y mitigar el cambio climático acelerado. La degradación, el daño y la destrucción de los ecosistemas (en lo sucesivo, denominados colectivamente **degradación**), disminuyen la biodiversidad, el funcionamiento y la **resiliencia** de los ecosistemas, lo que a su vez afecta negativamente la resiliencia y la sostenibilidad de los **sistemas socio-ecológicos**. Aunque proteger los ecosistemas nativos que aún existen es fundamental para conservar el patrimonio natural y cultural del mundo, la protección por sí sola es insuficiente, dada la degradación histórica y actual. Para responder a los desafíos ambientales de la actualidad y sostener el flujo de bienes y servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano, **la sociedad global debe asegurar una ganancia neta en la extensión y el funcionamiento de los ecosistemas nativos, invirtiendo no solo en la protección ambiental, sino también en reparación ambiental, incluida la restauración ecológica**. Esta reparación debe implementarse a múltiples escalas para lograr efectos medibles en todo el mundo.

La conciencia de la necesidad de reparación ambiental está en aumento, lo que resulta en un escalamiento global de la restauración ecológica y de los esfuerzos relacionados con ella (ver Sección 4, Parte 3). Por ejemplo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU) a 2030 hacen un llamado a la restauración de ecosistemas marinos y costeros (Objetivo 14) y terrestres (Objetivo 15) que han sido degradados para "proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, manejar sostenibleme los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de biodiversidad." El Convenio sobre la Diversidad Biológica (2016) demanda la "restauración de ecosistemas naturales y semi-naturales degradados, incluyendo entornos urbanos, como

[1] Los términos en negrillas están definidos en el glosario, sección 5.

una contribución para revertir la pérdida de biodiversidad, recuperar la conectividad, mejorar la resiliencia de los ecosistemas, aumentar el suministro de servicios ecosistémicos, mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático, combatir la desertificación y la degradación del suelo y mejorar el bienestar humano, al tiempo que se reducen los riesgos ambientales y la escasez de recursos." Y la Asamblea General de las Naciones Unidas ha declarado a 2021 - 2030 la "Década de la Restauración de los Ecosistemas." El concepto de restauración en muchas de estas iniciativas y acuerdos es muy amplio e incluye muchos enfoques para el **manejo de los ecosistemas** y las **soluciones basadas en la naturaleza**, todos los cuales son valiosos. Los Estándares abordan la relación entre la restauración ecológica y otras soluciones de gestión de los ecosistemas y soluciones basadas en la naturaleza y aclaran el papel específico de la restauración ecológica en contribuir a los objetivos de conservación de la biodiversidad y la mejora del bienestar humano en todo el mundo.

LA NECESIDAD DE PRINCIPIOS Y ESTÁNDARES

La reparación de los ecosistemas degradados es una tarea compleja que requiere de una inversión significativa de tiempo, recursos y conocimiento. La Restauración Ecológica contribuye de forma sustancial a proteger la biodiversidad y al bienestar humano, pero muchos proyectos y programas de restauración, aunque bien intencionados, tienen un desempeño deficiente. Los Estándares reconocen que un diseño apropiado; una buena planeación e implementación; suficientes conocimientos, habilidades, esfuerzos y recursos; la comprensión de contextos sociales específicos y riesgos; la participación adecuada de las partes interesadas y un monitoreo adecuado para el manejo adaptativo, contribuirán a mejorar los resultados. La aplicación de los principios y estándares puede incrementar la efectividad de los esfuerzos de restauración ecológica al establecer criterios para la implementación técnica en distintos tipos de ecosistemas. Además, proporcionan un marco que involucra a las partes interesadas y respeta las realidades y necesidades socioculturales, que puede ser aplicado tanto en la restauración obligatoria (requerida como parte de condiciones consensuadas), como en la no obligatoria (la reparación voluntaria del daño). Estos criterios pueden mejorar los resultados de la restauración ecológica, tanto si se usan para guiar a agencias, empresas o individuos involucrados en la planeación, implementación y monitoreo como para guiar a las instituciones reguladoras en el desarrollo de acuerdos de restauración obligatoria y la evaluación de su cumplimiento; o para guiar a los legisladores en el diseño, apoyo, financiamiento y evaluación de proyectos de restauración a cualquier escala. De este modo, el uso de principios y estándares claros y revisados cuidadosamente que sustentan la restauración ecológica puede reducir el riesgo de daños involuntarios a los ecosistemas y a la biodiversidad nativa, y ayudar a desarrollar proyectos y programas de alta calidad, abiertos al monitoreo y la evaluación.

ANTECEDENTES

Este documento amplía y se une a la colección de documentos fundacionales de la SER, incluidos: Principios de SER International sobre la restauración ecológica (*The SER International Primer on Ecological Restoration* [SER, 2004]), *Guidelines for Developing and Managing Restoration Projects* (Clewell et al. 2005), *Ecological Restoration—a Means of Conserving Biodiversity and Sustaining Livelihoods* (Gann y Lamb 2006), y *Ecological Restoration for Protected Areas: Principles, Guidelines and Best Practices* (Keenleyside et al. 2012). También utiliza el Código de Ética de la SER (SER, 2013) y se basa específicamente en materiales y modelos de dos ediciones de los Estándares Nacionales para la Práctica de la Restauración Ecológica en Australia (McDonald et al. 2016a; McDonald et al. 2018).

Varios libros fueron influyentes, incluidos *Restoration Ecology: The New Frontier* (Van Andel y Aronson 2012), *Ecological Restoration: Principles, Values and Structure of an Emerging Profession* (Clewell y Aronson 2013), *Foundations of Restoration Ecology* (Palmer et al. 2016), *Routledge Handbook of Ecological and Environmental Restoration* (Allison y Murphy 2017), y *Management of Ecological Rehabilitation Projects* (Liu y Clewell 2017). Hemos extraído contenido del editorial de *Ecosystem Restoration is Now a Global Priority* (Aronson y Alexander 2013), y los documentos *Ecosystem Restoration: Short-term Action Plan of the CBD* (Convention on Biological Diversity 2016), *Partnering with Nature: The Case for Natural Regeneration in Forest and Landscape Restoration* (Chazdon et al. 2017), y Restaurando bosques y paisajes: la clave para un futuro sostenible del (GPFLR; Besseau et al. 2018). Los trabajos publicados en la revista Restoration Ecology de la SER, la serie de libros sobre *The Science and Practice of Ecological Restoration* (Island Press) y del *Restoration Resource Center*, así como muchos otros documentos, han sustentado con información la elaboración de esta edición. Si bien las Secciones 1 a 3 están libres de referencias bibliográficas en su mayoría, por razones de brevedad, la Sección 4 (Prácticas destacadas), el Anexo 1 y el Suplemento S1 incluyen citas.



Capítulo de Ontario de SER, Canadá. Foto de Nigel Finney

¿QUÉ HAY DE NUEVO EN ESTA VERSIÓN?

Con el propósito de abordar mejor los diversos papeles que las personas desempeñan en la restauración y cómo los objetivos de los grupos indígenas encajan en el panorama general de la restauración ecológica, hemos reorganizado los Principios a fin de incorporar mejor los factores socioeconómicos y culturales que pueden afectar mucho los resultados de la restauración. El Principio 1 amplía los objetivos sociales e incluye una herramienta, la «Rueda de Beneficios Sociales», para ayudar a transmitir los objetos y objetivos sociales de un proyecto. Los principios y conceptos clave se agrupan en la sección de Principios. En el Suplemento S1 se proporciona una compilación de los documentos históricos utilizados para sintetizar los Principios. El escalamiento de la restauración ecológica y la relación entre restauración ecológica y actividades aliadas incluidas en la Sección 4 de la primera edición, se incorporan en los Principios 7 y 8 de esta versión.

Los temas claves relacionados con los modelos de referencia y los enfoques de restauración se incluyen en la nueva sección Prácticas Destacadas (Sección 4), que también considera la integración de la restauración ecológica en las iniciativas de restauración global. Agregamos un anexo técnico sobre las fuentes de semillas y otros propágulos para la restauración.

DEFINICIONES CLAVES Y TÉRMINOS

La SER define a la **restauración ecológica** como el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. Se distingue de la **ecología de la restauración**, la ciencia que apoya la práctica de la restauración ecológica, y de otras formas de reparación ambiental, en que busca ayudar a la recuperación de ecosistemas nativos y la **integridad de los ecosistemas**. La restauración ecológica aspira a llevar a un ecosistema degradado a una trayectoria de recuperación que permita la adaptación a los cambios locales y globales, así como la persistencia y evolución de las especies que lo componen.

El término restauración ecológica es comúnmente usado para describir tanto el proceso como el resultado esperado para un ecosistema. **No obstante, los Estándares reservan el término restauración para la actividad emprendida y recuperación** para el resultado esperado o logrado. Los Estándares definen a la restauración ecológica como cualquier **actividad** que tiene por objetivo lograr **la recuperación sustancial del ecosistema en relación con un modelo de referencia** apropiado, independientemente del tiempo necesario para lograrla. Los modelos de referencia utilizados en los proyectos de restauración ecológica se basan en la información de los **ecosistemas nativos**, incluidos muchos **ecosistemas culturales tradicionales** (véase el Principio 3).

Los proyectos o programas de restauración ecológica incluyen uno o más **objetos** que identifican al ecosistema nativo que se va a restaurar (según la información del modelo de referencia), y objetivos del proyecto que establecen el nivel de recuperación esperado. La **recuperación completa** se define como el estado o condición en el cual, tras la restauración, todos los **atributos clave del ecosistema** se asemejan mucho a los del modelo de referencia. Estos atributos incluyen la ausencia de amenazas, la composición de especies, la estructura de la comunidad, las condiciones físicas, las funciones del ecosistema y los intercambios externos. Cuando se planifican o producen niveles inferiores de recuperación debido a limitaciones de recursos, técnicas ambientales o sociales, la recuperación se denomina **recuperación parcial**. Un programa o **proyecto de restauración ecológica** debe aspirar a lograr una **recuperación significativa** de la biota nativa y de las funciones ecosistémicas (en contraste con la **rehabilitación**, descrita más abajo). Cuando el objetivo es una recuperación completa, un punto de referencia importante es cuando el ecosistema muestra capacidad de **auto-organización**. En esta etapa, si **barreras** imprevistas o la escasez de especies o procesos específicos desvían la ruta de recuperación, pueden requerirse más acciones de restauración para garantizar que la trayectoria continúe encaminada hacia la recuperación completa. Una vez que se alcance la recuperación total, cualquier actividad en curso (p. ej., el mantenimiento de los **regímenes de disturbio**) sería considerada como una acción de manejo o **mantenimiento del ecosistema**. Actividades específicas como las quemas prescritas o el control de especies invasoras, pueden ser usadas tanto en la fase de restauración como en la de mantenimiento de un proyecto.

El objetivo de los proyectos de la **rehabilitación** no es la recuperación de ecosistemas nativos, sino más bien restablecer un nivel de funcionamiento del ecosistema para la provisión renovada y continua de servicios ecosistémicos, potencialmente derivados también de ecosistemas no nativos. La rehabilitación es una de las muchas **actividades recuperativas** alineadas a lo largo de un continuo que incorpora a la restauración ecológica y sus actividades aliadas y complementarias, todas las cuales contribuyen a mejorar la **integridad ecosistémica** y la **resiliencia socio-ecológica** (ver Principio 8).

SUPUESTOS FUNDAMENTALES

Algunos supuestos sobre el papel de la restauración ecológica forman la base de los Estándares. En

primer lugar, la restauración de la mayoría de los ecosistemas nativos es un proceso desafiante y una recuperación sustancial generalmente requiere períodos largos de tiempo. En consecuencia, muchos proyectos de restauración ecológica aún están lejos de alcanzar los niveles de biodiversidad, funcionamiento ecosistémico, y suministro de servicios de los ecosistemas conservados. Por consiguiente, aunque las compensaciones puedan ser obligatorias como resultado de la pérdida o degradación de los ecosistemas, el **potencial de restauración ecológica nunca debe invocarse como una justificación para destruir o dañar a los ecosistemas nativos existentes o para el uso insostenible.** De manera similar, cualquier potencial de translocación de especies raras no debe utilizarse para justificar la destrucción de hábitats en buen estado de conservación. Sin embargo, cuando la compensación es obligatoria, el nivel de compensación debe ser muy superior a la pérdida o degradación estimada del ecosistema, y se debe tener cuidado de asegurar que las compensaciones no causen degradación adicional.

En segundo lugar, los Estándares dejan claro el uso de un ecosistema nativo de referencia como modelo para el ecosistema que está siendo restaurado. El modelo de referencia, derivado de múltiples fuentes de información, pretende caracterizar la condición del ecosistema tal como sería si no se hubiera degradado, ajustado según sea necesario para adaptarse a cambios ocurridos o predichos en las condiciones bióticas o ambientales (p. ej., cambio climático). Los Estándares también dejan claro que los modelos de referencia apropiados para la restauración ecológica no se basan en la inmovilización de las comunidades ecológicas en un punto del pasado, sino en aumentar el potencial para que las



Siempre-viva Chuveirinho (Actinocephalus claussenianus) Parque Nacional Chapada dos Veadeiros, Goias, Brasil. Derechos de autor de la foto Marcel Huijser

especies y comunidades nativas se recuperen y continúen sus procesos de reensamblaje, adaptación y evolución.

Finalmente, la restauración ecológica es parte de un conjunto más amplio de prácticas de manejo de ecosistemas diseñadas para conservar y, cuándo sea apropiado, usar sosteniblemente los ecosistemas nativos. Estas prácticas abarcan desde la agricultura regenerativa, las pesquerías y la silvicultura hasta la ingeniería ecológica, incluidas las mencionadas en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas para 2030, los proyectos de Restauración del Paisaje Forestal (RPF) y en una multitud de programas locales y regionales. Como tal, la restauración ecológica complementa otras acciones de conservación y soluciones basadas en la naturaleza y viceversa.

2 SECCIÓN 2 – OCHO PRINCIPIOS QUE FUNDAMENTAN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Los siguientes Principios brindan un marco para explicar, definir, guiar y medir las actividades y los resultados de la práctica de la restauración ecológica (Figura 1). Representan una síntesis de los principios y conceptos presentados en los documentos fundacionales de la SER, la literatura científica y la experiencia de los practicantes de la restauración (Suplemento S1).



Figura 1. *Ocho principios para la restauración ecológica. Cada principio se desarrolla completamente en el texto.*

Imagen no traducida

1. INVOLUCRA A LAS PARTES INTERESADAS
2. SE BASA EN MUCHOS TIPOS DE CONOCIMIENTO
3. ESTÁ BASADA EN ECOSISTEMAS DE REFERENCIA NATIVOS AUNQUE CONSIDERA EL CAMBIO AMBIENTAL
4. APOYA LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS
5. SE EVALÚA EN FUNCIÓN DE OBJETIVOS Y METAS CLAROS USANDO INDICADORES MEDIBLES
6. BUSCA EL NIVEL MÁS ALTO DE RECUPERACIÓN POSIBLE
7. ACUMULA VALOR CUANDO SE APLICA A GRANDES ESCALAS
8. ES PARTE DE UN CONTINUO DE ACTIVIDADES RECUPERATIVAS

PRINCIPIO 1.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA INVOLUCRA A LAS PARTES INTERESADAS



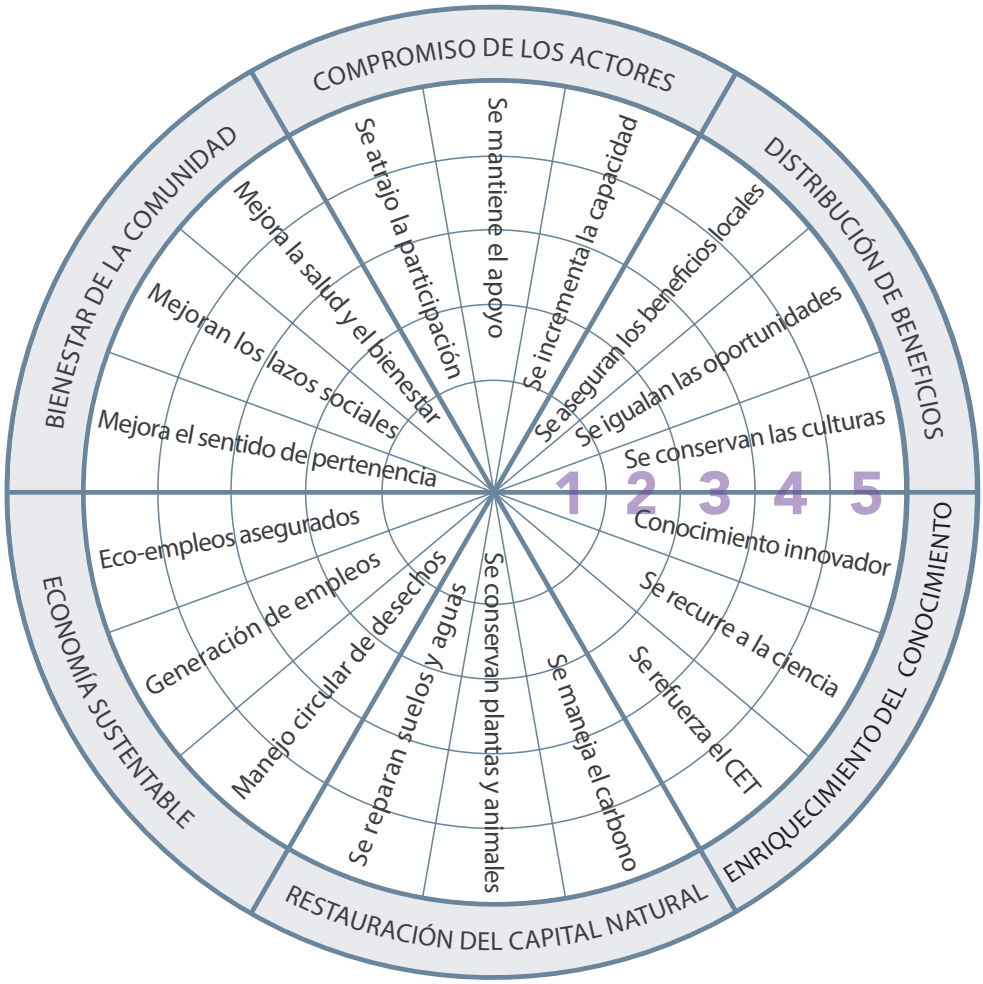
La restauración ecológica se lleva a cabo por muchas razones, incluyendo la recuperación de la **integridad de los ecosistemas** y la satisfacción de valores personales, culturales, socioeconómicos y ecológicos. Esta combinación de beneficios ecológicos y sociales puede conducir a una mejor **resiliencia socio-ecológica**. Los seres humanos se benefician de un compromiso más cercano y recíproco con la naturaleza. La participación en proyectos de restauración puede ser transformadora, por ejemplo, cuando los niños que se involucran en estos proyectos desarrollan un sentido de pertenencia hacia los sitios de restauración, o cuando las comunidades de voluntarios buscan nuevas carreras o caminos vocacionales en la práctica o ciencia de la restauración. Las comunidades localizadas dentro o cerca de ecosistemas degradados pueden obtener beneficios en salud y otros beneficios de la restauración que mejoran la calidad del aire, tierra, agua y hábitats para especies nativas. Los pueblos indígenas y las comunidades locales (tanto rurales como urbanas) se benefician cuando la restauración refuerza las culturas, las prácticas y los medios de vida basados en la naturaleza (p. ej., pesca, caza y recolección de subsistencia). Adicionalmente, la restauración puede proporcionar oportunidades de empleo a corto y largo plazo para las **partes interesadas** locales, creando circuitos económicos y ecológicos de retroalimentación positivos.

Las partes interesadas pueden hacer o deshacer un proyecto. Reconocer las expectativas e intereses de las partes e involucrarlas directamente es la clave para garantizar que tanto la naturaleza como la sociedad se beneficien mutuamente. Las partes interesadas pueden ayudar a priorizar la distribución de las acciones de restauración a través del paisaje, establecer los objetivos del proyecto (incluyendo el nivel de recuperación deseado), aportar conocimiento sobre las condiciones ecológicas y los patrones sucesionales para mejorar el desarrollo de modelos de referencia e involucrarse en el **monitoreo participativo**. Adicionalmente, las partes interesadas pueden proporcionar apoyo político y financiero para la sostenibilidad del proyecto a largo plazo, así como moderar los conflictos o desacuerdos que puedan surgir. El reconocimiento de diversas formas de propiedad y gestión de la propiedad (p. ej., gobierno, privada, comunitaria), tenencia de la tierra y organización social es esencial para lograr estos objetivos. Por ello, los encargados de los proyectos de restauración deben comprometerse genuina y activamente con quienes viven o trabajan dentro o cerca de los sitios de restauración y tienen interés en los valores ecológicos y el **capital natural** (incluidos los servicios ecosistémicos). Idealmente, este compromiso debe estar presente desde la fase conceptual o mucho antes del inicio del proyecto, de modo que las partes puedan ayudar a definir la visión, los objetos, los objetivos, las metas y los métodos de implementación y monitoreo. Este compromiso debe continuar a lo largo del proyecto para ayudar a satisfacer las expectativas sociales, desarrollar capacidades y sentido de pertenencia, y mantener el apoyo y los aportes. La construcción colaborativa del diálogo y la confianza entre todas las partes promueve el respeto de los diferentes puntos de vista y tipos de conocimiento y

mantiene el interés y el compromiso durante todas las fases del proyecto. Esta colaboración puede conducir a una toma de decisiones locales más rápida y eficaz, en particular cuando se aplican enfoques de monitoreo participativo o colaborativo.

La colaboración con las comunidades locales, incluyendo las comunidades indígenas, grupos ciudadanos sin fines de lucro y científicos ciudadanos para desarrollar planes de restauración, puede incrementar la inversión comunitaria en la restauración. Los jóvenes y las mujeres, particularmente en comunidades desatendidas, pueden convertirse en poderosos embajadores. Esta participación comunitaria puede aportar a un proyecto componentes de justicia social y ecología humana y puede brindar ventajas para la financiación.

Figura 2.
Ejemplo de una Rueda de Beneficios Sociales para ayudar a seguir el grado en que un proyecto o programa de restauración ecológica está alcanzando sus objetos y objetivos de desarrollo social. Esto y el Cuadro 1 se pueden personalizar para adaptarse a los objetos y objetivos específicos de cualquier proyecto o programa de restauración ecológica. Complementa la Rueda de Recuperación Ecológica utilizada para evaluar el progreso de la recuperación ecológica en relación al modelo de referencia del proyecto introducido en el Principio 6. Para la simetría del diseño, en este ejemplo se utilizan seis atributos y tres atributos secundarios, pero pueden ser necesarios más o menos, dependiendo del proyecto.



Los objetivos de **bienestar** social y humano, incluidos aquéllos que restablecen o refuerzan los servicios ecosistémicos, deben ser identificados simultáneamente con los objetivos ecológicos durante la fase de planificación de un proyecto de restauración (véase Principio 5, Principio 7 y Sección 4, Parte 3). La orientación para identificar los objetivos apropiados para mejorar los resultados, tanto sociales como ambientales, en los sistemas socio-ecológicos, se presenta en una serie de documentos (p. ej., Lynam et al. 2007; Keenleyside et al. 2012; REDD+ SES 2012; Conservation Measures Partnership 2013). En la Fig. 2 y el Cuadro 1 se presentan ejemplos de plantillas para comunicar el progreso de los objetivos sociales. Estas plantillas se pueden adaptar a los objetivos sociales de cualquier proyecto.

Cuadro 1.

Ejemplo del sistema de cinco estrellas para evaluar el progreso hacia los objetivos sociales en un proyecto o programa de restauración. Los objetivos sociales pueden ser muchos y variados. No todos los elementos de este cuadro serán relevantes para todos los proyectos. La Rueda de los Beneficios Sociales puede aplicarse tanto en proyectos pequeños como a gran escala, con la escala utilizada como un multiplicador de resultados, en lugar de ser en sí misma un atributo.

ATRIBUTO	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Compromiso de los actores (partes interesadas)	Actores identificados y conscientes del proyecto y su lógica. Se cuenta con una estrategia de comunicación permanente.	Actores clave que muestran apoyo y se involucran en la fase de planeación del proyecto.	Aumenta el número de actores, el apoyo y la participación al inicio de la fase de implementación.	Se consolida el número de actores, el apoyo y la participación a lo largo de la fase de implementación. .	El número de actores, el apoyo y la participación son óptimos, y la gestión autónoma y los acuerdos de secuencia están en orden.
Distribución de beneficios	Los beneficios a las comunidades locales se han negociado, asegurando oportunidades equitativas y el refuerzo de las relaciones culturales tradicionales con el sitio.	Los beneficios a las comunidades locales han comenzado y se mantienen las oportunidades equitativas. Se integran los elementos culturales tradicionales, según corresponda, en la planeación del proyecto.	Los beneficios a las comunidades locales están en un nivel intermedio y se mantienen las oportunidades equitativas. Cualquier elemento cultural tradicional está bien asegurado en la implementación del proyecto.	Los beneficios a las comunidades locales están en un nivel alto y se mantienen las oportunidades equitativas. Hay una integración sustancial de los elementos culturales tradicionales, aumentando las perspectivas de reconciliación.	Los beneficios a las comunidades locales y las oportunidades equitativas tienen un nivel muy alto, con una integración óptima de los elementos culturales tradicionales, contribuyendo sustancialmente a la reconciliación y la justicia social.
Enriquecimiento del conocimiento	Identificación de fuentes relevantes de conocimiento existentes y selección de mecanismos para generar nuevo conocimiento.	Las fuentes relevantes de conocimiento existente (y el potencial para nuevos conocimientos sustentan la planeación del proyecto y el diseño del monitoreo.	La fase de implementación hace uso de todo el conocimiento relevante, la retroalimentación de los actores y los primeros resultados del proyecto.	La implementación se enriquece con todo el conocimiento relevante, y con el ensayo y error derivados del mismo proyecto. Los resultados se han analizado y reportado.	La implementación se enriquece con todo el conocimiento relevante, y los resultados del proyecto difunden ampliamente a otros con proyectos similares.

Cuadro 1. (continuado)

Ejemplo del sistema de cinco estrellas para evaluar el progreso hacia los objetivos sociales en un proyecto o programa de restauración. Los objetivos sociales pueden ser muchos y variados. No todos los elementos de este cuadro serán relevantes para todos los proyectos. La Rueda de los Beneficios Sociales puede aplicarse tanto en proyectos pequeños como a gran escala, con la escala utilizada como un multiplicador de resultados, en lugar de ser en sí misma un atributo.

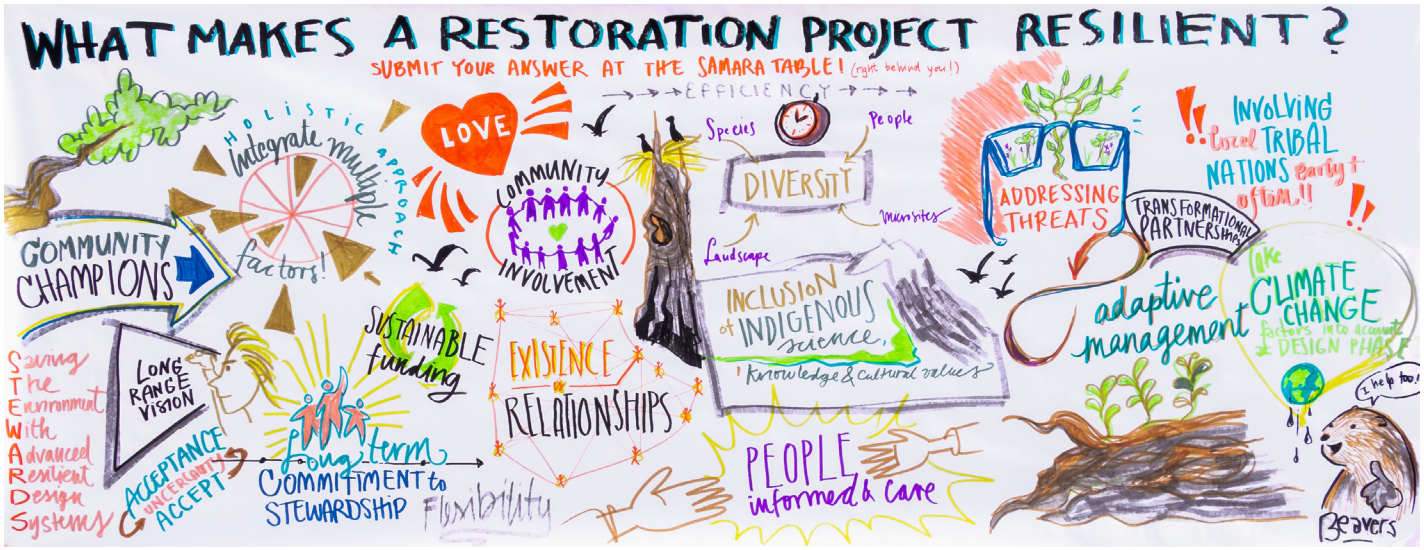
ATRIBUTO	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Capital Natural	Los sistemas de gestión de tierras y aguas para reducir la sobreex-plotación y restaurar y conservar el capital natural en el sitio están listos.	Los sistemas de gestión de tierras y aguas dan como resultado un nivel bajo de recuperación y de conservación del capital natural en el sitio.	Los sistemas de gestión de tierras y aguas dan como resultado un nivel intermedio de recuperación y conservación (incluyendo la mejora del balance de carbono).	Los sistemas de gestión de tierras y aguas dan como resultado un nivel alto de recuperación y conservación del capital natural (incluy-endo la neutral-idad del balance de carbono).	Los sistemas de gestión de tierras y aguas dan como resultado un nivel muy alto de recuperación y conservación del capital natural (incluyendo un status positivo del carbono).
Economía sustentable	Los modelos de negocio y empleos sostenibles (aplicables al proyecto o a negocios auxiliares) están previstos.	Los modelos de negocio y de empleo sostenibles han arrancado.	Los modelos de negocio y empleo sostenibles están en fase de prueba.	Los ensayos de los modelos de negocio y empleo sostenibles muestran éxito.	Los modelos de negocio y empleo sostenibles tienen altos niveles de éxito.
Bienestar de la comuni-dad	Los partici-pantes centrales se identifican como adminis-tradores y son propensos a mejorar los vínculos sociales y el sentido de pertenencia.	Todos los participantes se identifican y probablemente se benefician de la mejora de los vínculos sociales y el sentido de pertenencia. .	Muchos actores involucrados se benefician de la mejora de los vínculos sociales, el sentido de pertenencia y el retorno de los servicios ecosistémicos, incluyendo la recreación.	La mayoría de los actores involucrados se benefician de la mejora de los vínculos sociales, el sentido de pertenencia y el retorno de los servicios ecosistémicos, incluyendo la recreación.	Se identifica públicamente al sitio por brindar beneficios al bienestar derivados de la participación local y el retorno de los servicios eco-sistémicos, incluyendo la recreación.

PRINCIPIO 2.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA SE BASA EN MUCHOS TIPOS DE CONOCIMIENTO

La práctica de la restauración ecológica requiere de un alto grado de conocimiento ecológico que puede obtenerse de la experiencia del **practicante**, del **Conocimiento Ecológico Tradicional (CET)**, del **Conocimiento Ecológico Local (CEL)** (Recuadro 1), y de los **descubrimientos científicos**. Estas formas de conocimiento son producto de la observación, la experimentación y el ensayo y error, ya sea formal o informal. El mejor conocimiento disponible debe aportar al diseño y la implementación de la restauración ecológica, y contribuir al **manejo adaptativo** (Principio 5), por el cual los resultados de los tratamientos de restauración pueden indicar la necesidad de modificar los enfoques de gestión.

El conocimiento del practicante se deriva de la experiencia en la reparación de ecosistemas y de la información de un espectro de disciplinas (p. ej. restauración ecológica, agronomía y producción de semillas, silvicultura, horticultura, botánica, ciencia de la vida silvestre, zoología, hidrología, ciencia del suelo, ingeniería, diseño del paisaje, biología de la conservación y gestión de los recursos naturales). Adicionalmente, expertos del CET y el CEL, que típicamente son miembros de una comunidad local, pueden proporcionar información extensa y detallada acerca de los sitios y los ecosistemas, extraída de sus relaciones y conexiones de largo plazo con estos sitios. Cuando se integran en los proyectos de restauración, estas múltiples formas de conocimiento brindan oportunidades para mejorar los resultados de la restauración y la obtención de beneficios ecológicos, sociales y culturales.



Pizarrón gráfico de lluvia de ideas de la Conferencia del Capítulo Noroeste de SER 2018 en Spokane, WA, USA. Dibujo del grupo Samara (Katelyn Hale, Olivia Guethling)

Recuadro 1

EL CONOCIMIENTO ECOLÓGICO TRADICIONAL Y SU RELEVANCIA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICAN

El conocimiento ecológico tradicional (CET o TEK por sus siglas en inglés) se define como el conocimiento y la práctica transmitidos de generación en generación y sustentados en la información de una fuerte memoria cultural, sensibilidad al cambio y valores que incluyen la reciprocidad. Los ejemplos de cuidado de la tierra del CET incluyen el uso de incendios prescritos y las inundaciones estacionales para modificar la vegetación y la conservación de los ingenieros de los ecosistemas (p. ej., castores y elefantes) o depredadores tope (p. ej., lobos y leones) para mejorar el hábitat de otras especies y, a su vez, los recursos alimenticios para los humanos. Estos procesos funcionan dentro del intervalo de variabilidad natural de un ecosistema. Los pueblos indígenas han utilizado estas prácticas durante milenios para aumentar la productividad de alimentos del ecosistema, las materias primas para medicamentos y los artículos ceremoniales. El CET implica reciprocidad –el compartir y la moderación sostenida por creencias espirituales que consideran a las plantas y los animales como parientes de los humanos. Las prácticas del CET aumentan la biodiversidad y mejoran la resiliencia ecológica mediante la creación de mosaicos de paisaje de grano fino. Las observaciones del CET son cualitativas y de largo plazo. Los observadores suelen ser personas dedicadas a prácticas de subsistencia que incluyen la caza, la pesca y la recolección. Su supervivencia está vinculada a la salud de la tierra. Lo más importante es que el CET es inseparable del tejido espiritual y social de una cultura. En la cosmovisión indígena, se necesita todo lo que significa ser humano –cuerpo, mente, corazón y espíritu– para comprender algo ecológicamente. En consecuencia, el CET ofrece importantes conocimientos ecológicos, pero también una red de conocimientos que incluye valores que pueden ayudar a restaurar los ecosistemas.

El conocimiento ecológico local (CEL o LEK por sus siglas en inglés) se define como el conocimiento local, basado en el sitio, de la tierra y sus procesos que los seres humanos aplican para crear tierras más productivas y ecosistemas más saludables, aumentando la biodiversidad y mejorando la resiliencia de los ecosistemas. El CEL prevalece en los lugares donde los pueblos indígenas no tienen presencia y en los que se ha perdido el conocimiento de las prácticas indígenas. Extendido en Europa, por ejemplo, el CEL incluye la agricultura de la era preindustrial, la gestión del agua y las prácticas de caza de subsistencia. En algunos lugares, tanto el CEL como el CET pueden funcionar juntos, aunque provengan de diferentes paradigmas culturales.

Al incorporar al CET o el CEL en la restauración ecológica, los practicantes pueden identificar y evaluar rápidamente a las especies y su aptitud, los procesos y etapas sucesionales y las interacciones clave entre especies. Más aun, el CET y el CEL pueden ayudar a definir los ecosistemas de referencia nativos y a catalizar la restauración, al permitir la aplicación de prácticas culturales como el fuego prescrito, la rotación del ganado y la gestión del agua. Las estrategias de restauración ecológica que incorporan a la ciencia formal, el CET y el CEL pueden ser particularmente efectivas en la reparación de ecosistemas degradados.

El conocimiento científico se genera a través de procesos de medición sistemática y pruebas de hipótesis. El conocimiento científico relevante para la restauración proviene de la investigación básica y aplicada de un amplio espectro de disciplinas, desde la economía hasta las ciencias sociales, físicas y biológicas, incluyendo las subdisciplinas de la ecología de la restauración, biología de la conservación, genética de la conservación y ecología del paisaje. Aunque este conocimiento brinda información esencial para diseñar e implementar proyectos de restauración ecológica, existen vacíos significativos en la comprensión de la eficacia (grados en que se alcanzan los objetivos y metas) y los efectos (respuestas bióticas y abióticas a los tratamientos de manejo) de muchas actividades de restauración, las respuestas ecológicas al cambio climático y la mejora de la **preparación climática** (véase también el principio 3 y el Anexo 1). La investigación científica puede contribuir a eliminar estos vacíos. Adicionalmente, las evaluaciones científicas de la práctica de la restauración ecológica pueden abordar preguntas ecológicas esenciales, por ejemplo, cómo se ensamblan y funcionan los ecosistemas, así como preguntas socio-ecológicas. La generación de nuevo conocimiento científico puede no ser necesaria o realista en todos los proyectos de restauración ecológica, pero siempre debe considerarse, especialmente cuando se sabe poco sobre la eficacia de los tratamientos o donde las intervenciones de restauración son extremas o de alto riesgo (p. ej. reconstrucción de ecosistemas después de la minería).

Las colaboraciones entre investigadores y practicantes pueden mejorar los esfuerzos científicos al permitir diseños experimentales poderosos y una capacidad mejorada para hacer inferencias de las evaluaciones. Tal investigación puede aumentar la innovación y brindar una guía adicional para el manejo. La investigación enfocada puede ayudar a los practicantes a superar problemas que de otra forma serían inmanejables (p. ej., condiciones difíciles del sustrato, tasas bajas de reproducción y un suministro o calidad inadecuados del germoplasma; Ver Anexo 1). Adicionalmente, los resultados se pueden compartir y pueden ayudar a reducir los costos de otros proyectos. Los practicantes y los expertos en el conocimiento local pueden jugar un papel relevante en los proyectos de investigación de gran escala, al proporcionar acceso a proyectos, identificar cuellos de botella en las capacidades y vacíos de información, así como aportar experiencia logística.

El compartir el conocimiento científico y práctico es clave para implementar la restauración eficiente y efectivamente y lograr restaurar a una escala mayor. Una forma importante para avanzar en la ciencia y la práctica de la restauración ecológica a gran escala es desarrollar y promover la cooperación bilateral y multilateral entre y dentro de los países (Ver también Sección 4, Parte 3). Al compartir experiencia y experticia, se debe fomentar la cofinanciación y el codesarrollo de nuevo conocimiento para políticas y prácticas más efectivas entre las regiones y la **cooperación sur-sur** es particularmente importante para el intercambio de conocimientos en países en desarrollo y recientemente industrializados.

La disponibilidad de datos científicos sobre la eficacia y los efectos de los tratamientos de restauración debería determinarse en la etapa de propuesta del proyecto. Cuando surgen desafíos técnicos durante un proyecto de **restauración obligatoria**, debería realizarse investigación dirigida a identificar intervenciones de restauración alternativas en plazos de tiempo razonables. Si tal investigación continúa fallando en brindar soluciones, se deben planear propuestas alternativas para satisfacer los requisitos legales.

La falta de progreso hacia las metas de restauración no significa que la restauración no sea técnica, práctica o económicamente viable en el futuro. La falta de conocimiento y de competencias técnicas pueden ser superadas a través del manejo adaptativo,

ligado a un monitoreo enfocado y basado en resultados. Sin embargo, en la restauración obligatoria (p. ej., en el sector minero), se debe adquirir conocimiento y capacidad antes del proyecto, para asegurar que los acuerdos legales puedan cumplirse.

PRINCIPIO 3.

LA PRÁCTICA DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA ESTÁ BASADA EN INFORMACIÓN DE ECOSISTEMAS DE REFERENCIA NATIVOS, AL TIEMPO QUE CONSIDERA EL CAMBIO AMBIENTAL



La restauración ecológica requiere identificar al **ecosistema nativo** a restaurar y desarrollar **modelos de referencia** para planificar y comunicar una visión compartida de los objetos y objetivos del proyecto. Los modelos de referencia deben basarse en ecosistemas específicos del mundo real que son los objetos de las actividades de conservación y restauración (p. ej., bosques boreales, pantanos de agua dulce, arrecifes de coral). De manera óptima, el modelo de referencia describe la condición aproximada en la que estaría el sitio si no hubiese ocurrido la degradación. Esta condición no es necesariamente la misma que la del estado histórico, ya que considera la capacidad inherente de los ecosistemas para cambiar en respuesta a condiciones cambiantes. En algunos casos, los impactos de los cambios ambientales rápidos y la capacidad de adaptación a éstos pueden justificar la consideración de modelos ajustados o alternativos (ver también Recuadros 2 y 3, y la Sección 4, Parte 1).

Los modelos de referencia se desarrollan utilizando múltiples fuentes de información. La mejor práctica es la construcción de modelos empíricos basados en información de los atributos específicos del ecosistema obtenidos de múltiples análogos actuales o **sitios de referencia**. Estos sitios son ambiental y ecológicamente similares al sitio del proyecto, pero en el mejor caso han experimentado una degradación menor o mínima (pero ver Recuadro 4). La información sobre las condiciones pasadas y actuales del sitio, así como la consulta con las partes interesadas, pueden ayudar a desarrollar modelos de referencia, especialmente donde no se dispone de sitios de referencia locales no degradados. Esta información normalmente se recopila durante la fase de evaluación del sitio o **inventario de línea base** del proyecto (Principio 5).

Los sitios de referencia pueden ser escasos en regiones que tienen pocas áreas protegidas. En estos casos, los sitios previamente degradados que han tenido diferentes periodos de tiempo para la recuperación natural (p. ej., nuevas áreas protegidas, sitios arqueológicos, sitios militares cercados o zonas desmilitarizadas) pueden indicar la trayectoria de recuperación del ecosistema después de un tipo específico de daño. Es posible que las condiciones de referencia deban inferirse de las partes menos perturbadas del sitio, combinadas con modelos sucesionales, datos históricos y modelos de cambios futuros.

Es importante que los modelos de referencia se basen en atributos específicos del ecosistema que deben recuperarse y que consideren tanto la complejidad ecológica como los cambios temporales (es decir, las dinámicas sucesionales o de equilibrio del ecosistema; ver Sección 4, Parte 1 para una discusión de estos conceptos). Para describir el ecosistema de referencia se pueden utilizar seis **atributos clave del ecosistema** (Cuadro 2). En conjunto estos seis

atributos contribuyen a la integridad global del ecosistema, que surge de las propiedades de diversidad, complejidad y resiliencia inherentes a los ecosistemas nativos funcionales. Dada la amplia variedad de tipos de ecosistemas en los que la restauración ecológica es necesaria, estas categorías de atributos son amplias en lugar de prescriptivas.

Los modelos de referencia no deben utilizarse para inmovilizar a un ecosistema en un momento específico. Una propiedad inherente de los ecosistemas es que cambian con el tiempo como resultado de factores internos (p. ej., cambios en las tasas de crecimiento poblacional) y externos (p. ej., disturbios físicos). Los modelos de referencia deben desarrollarse con un enfoque explícito en la comprensión de las dinámicas temporales, para desarrollar diseños de restauración factibles y relevantes que permitan la recuperación, adaptación, evolución y reensamblaje de las especies locales.

Pueden ser necesarios múltiples modelos de referencia para un proyecto de restauración. En primer lugar, es probable que los proyectos grandes y los realizados en áreas con una topografía variada incluyan un mosaico de ecosistemas y sus ecotonos. En segundo lugar, podrían ser necesarias referencias múltiples o secuenciales para reflejar la dinámica del ecosistema, o los cambios anticipados a lo largo del tiempo. Los sitios en ecosistemas sucesionales pueden encontrarse en fases tempranas de desarrollo sucesional inmediatamente después del tratamiento, y avanzar más tarde a otras etapas sucesionales. En ecosistemas con dinámicas de equilibrio complejas, pueden existir múltiples trayectorias sucesionales y pueden ser necesarios múltiples modelos para intentar describir diferentes resultados posibles de la restauración. Tales estados alternativos pueden resultar de cambios en las densidades poblacionales o en los impulsores ambientales o ambos combinados. Adicionalmente, los modelos

Cuadro 2.

Descripción de los atributos clave del ecosistema utilizados para caracterizar al ecosistema de referencia, así como para evaluar la condición de línea de base, establecer los objetivos del proyecto y monitorear el grado de recuperación en un sitio de restauración. Estos atributos son adecuados para el monitoreo en el Principio 5 y el Sistema de las Cinco Estrellas discutido en el Principio 6

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN
Ausencia de amenazas	Las amenazas directas al ecosistema, como la sobreutilización, la contaminación o las especies invasoras, están ausentes. .
Condiciones físicas	Las condiciones ambientales, (incluidas las condiciones físicas y químicas del suelo y el agua, y la topografía) requeridas para mantener al ecosistema objeto están presentes.
Composición de especies	Las especies nativas características del ecosistema de referencia apropiado se encuentran presentes, mientras que las especies indeseadas están ausentes.
Diversidad estructural	Está presente una diversidad adecuada de los componentes estructurales clave, incluiados los estadios demográficos, los niveles tróficos, los estratos de vegetación y la diversida espacial de hábitats.
Funcionamiento ecosistémico	Niveles adecuados de crecimiento y productividad, reciclaje de nutrientes, descomposición, interacciones entre especies y tasas de disturbio.
Intercambios externos	Los ecosistemas están integrados de manera adecuada en su contexto paisajístico o acuático a través de flujos e intercambios abióticos y bióticos.

de referencia pueden necesitar ajustes a lo largo del tiempo basados en los resultados del monitoreo del proyecto.

ECOSISTEMAS CULTURALES TRADICIONALES

La mayoría de los ecosistemas de todo el mundo han sido moldeados por el uso humano, para proveer alimentos, fibras, medicamentos, o elementos culturales importantes (p. ej., totems, herramientas espiritualmente significativas). El concepto de **ecosistemas culturales tradicionales** reconoce que los ecosistemas no son sólo conjuntos de organismos, sino que representan la coevolución de plantas, animales y humanos en respuesta a condiciones ambientales pasadas. La medida en que los ecosistemas nativos son el resultado de la transformación antrópica es variable y, a menudo, poco clara; pero es bien conocido que se han producido y mantenido transformaciones extensas a través de prácticas tradicionales que son similares a los disturbios naturales. Por ejemplo, la existencia de claros con pastos al interior de los bosques es a menudo atribuida a quemas realizadas por los pueblos indígenas. Cuando estos ecosistemas de pradera utilizados por los humanos exhiben especies y características biofísicas similares a las que se encuentran en sabanas y pastizales mantenidos por incendios naturales, tales áreas deben considerarse ecosistemas nativos. En estas áreas que mantienen biodiversidad nativa, se deben incentivar las prácticas de manejo tradicionales como una parte necesaria de la integridad del ecosistema. De hecho, en algunos ecosistemas, la falta de manejo tradicional (p. ej., falta de quemas tradicionales, pastoreo, cosecha, plantación, inundación estacional) impulsa la degradación. De manera similar, muchos de los montes bajos antiguos y praderas no fertilizadas pero ricas en especies de Europa y otros ecosistemas antiguos transformados por la acción humana en la región del Mediterráneo y del Sahel, son ejemplos de ecosistemas nativos y modelos de referencia apropiados para la restauración ecológica. En el contexto legal de la Unión Europea, se denominan **ecosistemas seminaturales** (no ecosistemas culturales), e incluyen pastizales calcáreos, brezales húmedos y secos, pastizales del bosque, praderas estacionales de montaña, marismas pastoreadas, matorrales y dehesas mediterráneas y estanques mesotróficos de peces.

Debido a las complejas historias socio-ecológicas en los ecosistemas culturales tradicionales, pueden funcionar como referencia para la restauración ecológica múltiples ecosistemas complementarios. En algunos casos, el objeto de la restauración puede ser una etapa sucesional temprana, que se mantendrá mediante el manejo tradicional. Los ecosistemas antiguos o modernos que se componen ante todo de especies no nativas, utilizan insumos artificiales (p. ej., fertilizantes), o son estructural o funcionalmente distintos de los ecosistemas nativos regionales (p. ej., jardines botánicos formales) no son modelos de referencia apropiados para la restauración ecológica como se define aquí.

Recuadro 2

LOS ECOSISTEMAS DE REFERENCIA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio continuo en el clima durante milenios, siglos y décadas es una característica importante de nuestro planeta. Aunque este telón de fondo de cambio ambiental es constante, el cambio climático inducido antropogénicamente ha aumentado la velocidad del cambio en muchos ecosistemas en todo el mundo. Si bien estos cambios generalmente se reconocen como indeseables y requieren de la acción urgente de la sociedad, es probable que los cambios previstos sean irreversibles en el futuro predecible. Esto significa que, además de trabajar para mejorar el potencial de restauración y otras acciones para frenar el cambio climático, éste debe reconocerse como parte de la condición ambiental actual, a la que muchas especies se adaptarán o se extinguirán.

El cambio climático requiere del establecimiento de objetos sustentados en la información de la investigación en curso sobre los efectos relacionados anticipados en las especies y los ecosistemas. Si bien existe incertidumbre, sabemos que el recambio de especies y el re-ensamblaje de comunidades bajo el cambio climático provocarán grandes cambios en ecosistemas enteros en muchas áreas geográficas (p.ej., muchas comunidades marinas, costeras, alpinas y templadas-frías), aunque en algunos ecosistemas con amortiguación climática los cambios pueden ser mínimos. Conforme cambie el clima, las **envolturas climáticas** de las especies individuales cambiarán espacialmente. Esto significa que en un ecosistema dado se perderán algunas especies, mientras que otras podrán sobrevivir debido a la plasticidad o la capacidad de adaptarse a los cambios en las condiciones ambientales, e incluso otras nuevas llegarán.

La degradación de la tierra, en particular la fragmentación, exacerba los efectos del cambio climático en muchas especies y comunidades ecológicas, tanto porque aísla poblaciones, lo que afecta negativamente a la diversidad genética y al potencial de adaptación, como porque limita las oportunidades para que las especies se dispersen o migren a hábitats con climas adecuados. Debido a esto, existe la necesidad de intervenciones de manejo que optimicen la diversidad genética y el potencial para que las poblaciones se adapten, eviten las erradicaciones de las áreas actuales de hábitat y promuevan la migración a nuevas áreas. Las opciones incluyen la retención y el **aumento** de poblaciones genéticamente diversas de especies de flora y fauna nativas existentes, y asegurarse de que estas poblaciones existan en configuraciones que aumenten la conectividad y mejoren el **flujo génico** cuando sea apropiado para impulsar la adaptabilidad a las condiciones cambiantes (ver Anexo 1).

Recuadro 3

¿QUÉ PASA EN LOS CASOS EN QUE SE HA PRODUCIDO UN CAMBIO AMBIENTAL INSUPERABLE?

Los encargados de los proyectos pueden adoptar a ecosistemas nativos alternativos como objetos para las áreas afectadas por cambios ambientales significativos e insuperables. Se esperaría encontrar ecosistemas alternativos cuando las condiciones han cambiado. Los ejemplos de conversión incluyen sitios en los que: (1) la hidrología ha cambiado irreversiblemente de agua salada a agua dulce (p. ej., debido a los cambios en los flujos de corrientes de agua), de agua dulce a salada (p. ej., debido al aumento del nivel del mar), o de mésicas a áridas (p. ej., debido a la disminución de los niveles freáticos o a la desecación completa de ríos o lagos); (2) el agua de lluvia ha producido corrientes intermitentes; y (3) se han añadido nutrientes a los suelos y no se pueden eliminar sin esfuerzos o recursos extremos. También se puede elegir un ecosistema de referencia alternativo cuando los regímenes de fuego tradicionales u otras funciones del ecosistema se hayan alterado irreversiblemente.

Decidir cuándo es adecuado un ecosistema de referencia alternativo depende de las condiciones locales y del supuesto de irreversibilidad, y requiere de un juicio ecológico experto (Fig. 3). Puede ser adecuado usar más de un ecosistema de referencia alternativo, por ejemplo, en áreas urbanas y agrícolas muy modificadas y es necesaria una selección cuidadosa para que coincidan con la situación socio-ecológica local. Además, la apariencia de un sitio no necesariamente es un indicador confiable de su potencial de restauración. En muchos casos en los que algunos supusieron que la restauración era imposible, la recuperación se consiguió después de la aplicación de enfoques expertos y bien sustentados. Cuando haya dudas sobre el potencial de recuperación, pero la recuperación es muy deseable, una aproximación estándar es hacer ensayos de tratamientos en un área pequeña durante un periodo suficiente para determinar su eficacia. Los tratamientos de ensayo se diseñan mejor cuando se realizan en conjunto entre científicos y practicantes, y pueden ayudar a sustentar la selección adecuada de un ecosistema que se use como la base para desarrollar el modelo de referencia.

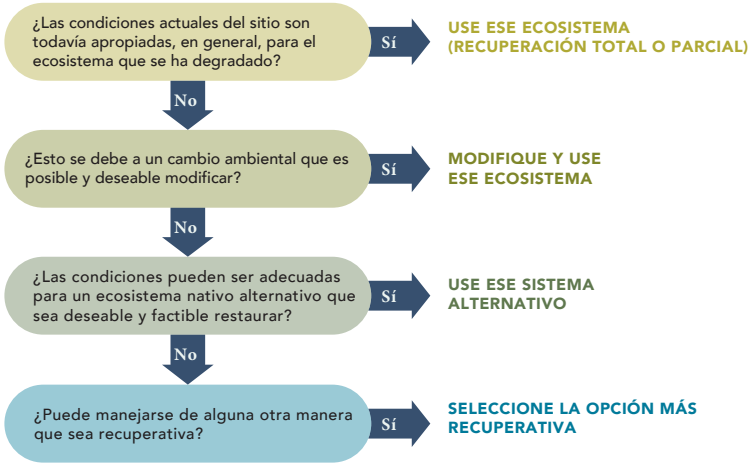


Figura 3. *Árbol de decisiones para ayudar en la selección de ecosistemas nativos de referencia adecuados para proyectos de restauración.*

Recuadro 4

LA IMPORTANCIA DE LAS LÍNEAS BASE

En la restauración ecológica, el término línea base se usa de dos maneras muy distintas. En los Estándares, la línea base se refiere a la condición de un sitio al inicio del proceso de restauración. En otros contextos, la línea base describe un ecosistema antes de la degradación (p. ej., como lo utiliza el Convenio sobre la Diversidad Biológica). Este último uso del término también se aplica al concepto de líneas base cambiantes (o en declive), que describen cómo algunos ecosistemas pueden estar más degradados de lo que se pensó previamente, o cuando los observadores actuales definen como no degradados a ecosistemas que observadores previos considerarían degradados. El concepto de líneas base cambiantes ha sido particularmente bien estudiado en ecosistemas marinos y pesquerías. En el contexto de los Estándares, el concepto de líneas base cambiantes se debe considerar al usar sitios de referencia para desarrollar un modelo de referencia para la restauración ecológica, ya que un sitio de referencia se puede percibir como no degradado o con degradación mínima, pero aun así, puede haber perdido especies o funciones importantes. Las fallas en considerar que los sitios de referencia pueden estar deteriorados pueden dar como resultado modelos de referencia menos exactos.

Además, este problema es importante en los programas de restauración obligatoria, ya que las autoridades pueden aspirar a estándares más bajos basados en ideas equivocadas de lo que constituye un ecosistema no degradado. Esto puede ser importante en los programas de compensación de la biodiversidad que, sí están pobremente diseñados, pueden contribuir a una degradación continua y a la pérdida de biodiversidad. Más aun, se ha demostrado que incluso si es posible la recuperación completa de un ecosistema, las pérdidas netas de biodiversidad y funciones del ecosistema pueden continuar durante largos períodos de tiempo hasta que se logre una recuperación completa. En consecuencia, los programas de restauración ecológica, ya sean obligatorios o voluntarios, deberían esforzarse en hacer más de lo que parezca necesario para asegurar ganancias netas generales de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

PRINCIPIO 4.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA APOYA LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS



Las acciones de restauración ecológica están diseñadas para ayudar a los procesos naturales de **recuperación** que al final se realizan por los efectos del tiempo en los procesos físicos y las respuestas e interacciones de la biota a lo largo de sus ciclos de vida. Las actividades de restauración se centran en restablecer los componentes y las condiciones adecuadas para que se reanuden estos procesos y apoyan la recuperación de atributos del ecosistema, incluida la capacidad de autoorganización y la **resiliencia del ecosistema** a tensiones futuras. Estas actividades se planean e implementan con base en el modelo de referencia (Principio 3), y los objetos, objetivos y metas acordados del proyecto (Principio 5).

La manera más confiable y costo-efectiva para iniciar la restauración es aprovechar el potencial de las especies remanentes (p. ej., plantas, animales, microorganismos) para regenerarse (es decir, colonizar o expandirse a partir de componentes in situ), pero los ecosistemas degradados con frecuencia requieren una intervención considerable para compensar el **potencial de recuperación natural** perdido (ver también la Sección 4, Parte 2). Se necesita una evaluación antes de planificar los tratamientos apropiados, para determinar: (1) el potencial de regeneración después de eliminar las causas de la degradación y (2) la necesidad de restablecer los elementos bióticos y abióticos faltantes. Esta evaluación debe sustentarse en el conocimiento de los **rasgos funcionales** (en particular los mecanismos de recuperación) de las especies individuales con probabilidad de ocurrencia o colonización del sitio y en predicciones de los flujos y almacenes de propágulos. Donde existen vacíos de conocimiento, las pruebas de la respuesta de recuperación en áreas más pequeñas son útiles antes de su aplicación en áreas más grandes. Las intervenciones de restauración enfocadas en áreas con alto potencial de recuperación natural podrían priorizarse para más adelante liberar recursos para áreas que requieren actividades más intensivas (ver Sección 4, Parte 2).

La restauración puede dar lugar a resultados inesperados. Los practicantes deben estar preparados para emprender tratamientos adicionales o participar en investigaciones para superar las barreras o limitantes a la recuperación natural. Las acciones de restauración diseñadas para estimular la recuperación de especies nativas, por ejemplo, pueden también estimular una respuesta de especies indeseables presentes en el **banco de propágulos**, que a menudo requieren múltiples intervenciones de seguimiento para lograr los objetivos del proyecto.



Antes y después de las actividades de restauración, Massachusetts, USA.
Foto de Alex Hackman

PRINCIPIO 5.

LA RECUPERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS SE EVALÚA EN FUNCIÓN DE OBJETIVOS Y METAS CLAROS, UTILIZANDO INDICADORES MEDIBLES



En la fase de planificación de los proyectos de restauración se identifican el alcance, la visión, los objetos, objetivos y metas del proyecto, junto con indicadores específicos para medir los avances. Tanto los atributos ecológicos como los sociales del proyecto deben incluirse (Recuadro 5). Los indicadores pueden entonces ser usados para monitorear el progreso a lo largo del tiempo, aplicando enfoques de **manejo adaptativo** (Recuadro 6). También deben asignarse recursos adecuados si se va a realizar un monitoreo efectivo.

Los objetos, objetivos y metas ecológicos estarán fuertemente sustentados en una evaluación del sitio o un inventario de línea base. Esta evaluación describe el estado del sitio degradado y sustenta con información tanto la identificación del modelo de referencia (Principio 3) como el grado de recuperación requerido para aproximarse a la condición de referencia. El inventario de línea base describe los componentes bióticos y abióticos actuales del sitio, incluidos sus atributos de composición, estructura y función, así como las amenazas y subsidios externos. El proceso de elaborar un inventario es un paso inicial clave para entender qué es deseable y posible en un sitio degradado en términos de objetos, objetivos, metas e indicadores de restauración. El inventario se usa posteriormente para detectar cambios a lo largo del tiempo en relación con la condición de línea base.

Las evaluaciones del progreso hacia el objeto ecológico deben incluir indicadores para cada uno de los seis atributos clave del ecosistema de referencia (Recuadro 7). Los objetivos ecológicos del proyecto deben abordar el grado de recuperación buscado para cada atributo, con indicadores específicos y medibles para evaluar la condición del sitio antes del inicio del proyecto. Los mismos indicadores son también monitoreados después de la implementación del proyecto para evaluar si las acciones de restauración están cumpliendo con los objetivos y metas ecológicos. Para evaluar el progreso, cada meta de restauración debe articular claramente: (1) los indicadores que se medirán (p. ej., porcentaje de cobertura de dosel de plantas nativas); (2) el resultado deseado (p. ej., aumentar, disminuir, mantener); (3) la magnitud del efecto deseado (p. ej., aumento del 40%); y (4) el marco temporal (p. ej., 5 años). Para proyectos en los que sea posible y deseable la recuperación completa, el objeto ecológico se alineará con el modelo de referencia. Cuando sólo se anticipa una recuperación parcial, sin embargo, el objeto y el modelo de referencia no se alinearán completamente. Por ejemplo, el ecosistema objeto puede carecer de algunas especies o incluir sustitutos no nativos o introducidos, o los objetos ecológicos pueden modificarse para cumplir con objetos sociales.

Los objetivos sociales varían ampliamente entre proyectos y surgen de una variedad de consideraciones

sociales (ver Principio 1). Después de una consulta significativa con las partes interesadas, los objetivos sociales deben ser identificados en el plan del proyecto, incluyendo descripciones de la justificación de cualquier disyuntiva entre beneficios y costos sociales y ecológicos. Los informes del proyecto pueden reconocer y destacar los beneficios para la sociedad y para los ecosistemas que pueden surgir del proyecto.

Recuadro 5

JERARQUÍA DE LOS TÉRMINOS DE USO COMÚN EN LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS[1]

- El **Alcance** es el foco geográfico o temático amplio de un proyecto.

- La **Visión** es un resumen general de la condición deseada a la que se está intentando llegar con el trabajo de un proyecto. Una buena visión es relativamente general, visionaria (inspiradora) y breve.

- Los **Objetos** identifican a los ecosistemas nativos a ser restaurados en un sitio de acuerdo con la información del modelo de referencia, junto con los resultados o restricciones sociales que se esperan del proyecto.

- Los **Objetivos** son declaraciones formales de la condición ecológica o social deseada a mediano y largo plazo, incluido el nivel de recuperación buscado. Los objetivos deben estar claramente integrados a los objetos, ser medibles, con plazos de tiempo limitados, y ser específicos.

- Las **Metas** son declaraciones formales de los resultados provisionales a lo largo de la trayectoria de recuperación. Las metas deben estar claramente integradas a los objetos y objetivos, ser medibles, con plazos de tiempo limitados, y ser específicas.

- Los **Indicadores** son medidas específicas y cuantificables de atributos que conectan directamente a los objetivos a más largo plazo con las metas a más corto plazo. Los indicadores ecológicos son variables que se miden para evaluar cambios en los atributos físicos (p. ej., unidades de turbidez), químicos (p. ej., concentración de nutrientes) o bióticos (abundancia de una especie) de los ecosistemas según la guía del modelo de referencia. Los indicadores socio-ecológicos o culturales miden los cambios en el bienestar humano, como la participación en prácticas tradicionales, la gobernanza, el idioma y la educación.

1 — Los términos utilizados aquí, con algunas adaptaciones, se basan en los de los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación (Asociación de Medidas de Conservación 2013

Recuadro 6

MONITOREO Y MANEJO ADAPTATIVO

El monitoreo de los proyectos de restauración es esencial para cada uno de los siguientes objetivos:

GENERAR APRENDIZAJE SOCIAL

El monitoreo participativo involucra a las partes interesadas en la recopilación y el análisis de datos recopilados de las actividades de restauración. Este enfoque de cooperación puede conducir a una mejor toma de decisiones colaborativas y a fortalecer la capacidad y el empoderamiento de las partes interesadas. El monitoreo participativo exitoso aborda las preguntas y necesidades de las partes interesadas de manera oportuna. Los métodos se acuerdan de manera colectiva, son fáciles de utilizar y fomentan el aprendizaje social al tiempo que construyen redes de aprendizaje. Como tal, el monitoreo participativo es con frecuencia más beneficioso cuando se apoya en fuentes de información y métodos de evaluar la confiabilidad que son relevantes para las partes interesadas, más que en enfoques científicos convencionales.

RESPONDER A PREGUNTAS ESPECÍFICAS

El monitoreo se puede usar para responder a preguntas específicas que mejoran nuestra comprensión de la restauración ecológica y aseguran la toma de decisiones de restauración sustentadas en información. En ambos casos se requiere que los datos sean recopilados adecuadamente y un diseño experimental eficaz. Un enfoque es la comparación del sitio de restauración con sitios de referencia pre-seleccionados. Otro método es realizar un monitoreo antes y después del tratamiento, tanto en los sitios control como en los sitios con tratamientos (Diseño experimental *Before-After-Control-Impact*[2] , BACI por sus siglas en inglés). Este diseño determina si los tratamientos son efectivos o tienen efectos (relación causal). Este tipo de monitoreo formal puede resolver problemas acerca de nuevos tratamientos o el regreso de organismos o procesos cuando los datos se toman con un diseño experimental adecuado. También se necesita un registro riguroso de los tratamientos de restauración específicos y otras condiciones que pueden afectar los resultados. La práctica convencional en tales situaciones es que quien inicia la investigación desarrolle alianzas entre científicos, practicantes y la comunidad local, para asegurar que el proyecto reciba un nivel adecuado de asesoría científica y práctica y ayuda para optimizar su éxito y relevancia.

APLICANDO EL MANEJO ADAPTATIVO

Esta forma de "aprender haciendo" es un enfoque sistemático para mejorar la práctica de la restauración. El manejo adaptativo no es "ensayo y error". Si se aplica correctamente, el manejo adaptativo mejora nuestra comprensión de la restauración al:

2 — Nota de la traducción. Este diseño experimental para el monitoreo podría traducirse como Control-Tratamiento Antes y Después. El término 'impact' se refiere al tratamiento de restauración.

(1) explorar las formas alternativas de cumplir con las metas de restauración;
(2) predecir los resultados de alternativas basadas en el estado actual del conocimiento;
(3) implementar una o más de estas alternativas;
(4) monitorear para aprender sobre los impactos de las acciones recuperativas; y luego
(5) usar los resultados para actualizar el conocimiento y ajustar las prácticas de restauración.

El manejo adaptativo puede y debe ser el enfoque estándar para cualquier proyecto de restauración ecológica, independientemente de qué tantos recursos tenga. La implementación total de un enfoque de manejo adaptativo requiere de un monitoreo y evaluación de resultados oportunos, así como de financiamiento para la restauración en curso.

Un proceso básico necesario para identificar si las intervenciones de restauración están funcionando o necesitan modificarse es inspeccionar el sitio periódicamente, y registrar observaciones de las respuestas de las especies (p. ej., tasas de crecimiento, floración, regeneración, y presencia o ausencia de malezas, plagas y enfermedades). El monitoreo formal de la biodiversidad puede involucrar una variedad de técnicas de muestreo del suelo, el agua, la vegetación y la fauna. El diseño de los esquemas de monitoreo debe hacerse en la fase de planificación del proyecto, para asegurar que los objetivos y metas del proyecto y sus indicadores seleccionados sean medibles, que el formato y la programación del monitoreo estén bien alineados y que haya detonantes claros de acciones a realizar si las metas y objetivos no se cumplen. Si se quiere y es adecuado, se pueden diseñar experimentos formales, considerando las convenciones sobre los tamaños de muestra, la replicación y la utilización de controles para interpretar los resultados. .

PROPORCIONAR EVIDENCIAS A LAS PARTES INTERESADAS

Las fotografías de series de tiempo proporcionan evidencia visual a las partes interesadas y a las instituciones reguladoras de que se están cumpliendo los objetivos (es decir, asegurar que se tienen imágenes del sitio desde la misma ubicación de puntos fotográficos, antes y después del tratamiento, para mostrar los cambios a lo largo del tiempo). En sitios pequeños, se pueden establecer puntos fotográficos fijos en el suelo, mientras que en sitios más grandes, las imágenes de percepción remota pueden ser más eficientes. Debido a que estas imágenes solo ofrecen una visualización de los cambios que se producen, generalmente se espera que los proyectos bien financiados (particularmente aquellos bajo controles regulatorios) realicen un monitoreo cuantitativo formal. Éste se basa en un plan de monitoreo que identifica, entre otras cosas, el diseño del monitoreo, los plazos temporales, quién es el responsable, el análisis que se planea hacer y los marcos de respuesta y comunicación a las instituciones reguladoras, entidades financiadoras u otras partes interesadas.

Recuadro 7

EJEMPLO DE PLANIFICACIÓN HIPOTÉTICA QUE INCLUYE OBJETIVOS ECOLÓGICOS Y SOCIALES INTEGRADOS

ALCANCE

Dos bosques de robles de Garry (*Quercus garryana*) de 5 ha conectados por una pradera abierta y un lago en las Islas del Golfo del Sur, Columbia Británica, Canadá.

CONDICIÓN ACTUAL

El pastoreo y la fragmentación han provocado una disminución en la diversidad de aves del bosque en dos relictos de bosques de robles de Garry. Estos dos bosques, conectados por una pradera sobrepastoreada, contienen 30% de cobertura nativa y 50% de cobertura no nativa de especies vegetales herbáceas y leñosas. La cobertura restante, 20%, es suelo desnudo. El lago tiene un recuento alto de *E. choli* procedentes de lixiviados de los suelos pastoreados. Las plantas acuáticas flotantes aumentan después de los eventos de lluvia, lo que conduce a la muerte ocasional de peces.

VISIÓN

El retorno de ecosistemas saludables cuidados y disfrutados por los habitantes de las islas, resultando en una cohesión social renovada y una gestión sostenible de los ecosistemas.

OBJETOS ECOLÓGICOS

Los bosques de robles de Garry no perturbados y las praderas (semiabiertas) tienen robles maduros con una alfombra de flores silvestres de primavera. Antes de la llegada de los europeos, los pueblos originarios mantuvieron las praderas libres de malezas para cultivar plantas del género Camassia. Los bulbos de estas flores silvestres azules son una fuente de alimento importante. El lago de aguas abiertas es el hábitat de la trucha arcoiris, la lubina de boca chica y la perca sol. Un humedal sirve como transición del lago a la orilla. Las nutrias de río nadan entre los lirios amarillos del estanque y los tordos sargento se balancean sobre las tifas.

OBJETIVOS (ECOLÓGICOS Y SOCIALES)

1. Reducción de la sedimentación activa y el recuento de E. coli en las corrientes de agua de acuerdo a los estándares del Departamento de Salud para nadar en un plazo de 5 años;
2. Reducción de la eutrofización del lago, con la población adulta de truchas que supere las 20 capturas por unidad de esfuerzo; actividades pesqueras sostenibles en un plazo de 5 años;

3. Los vecinos constituirán el 80% de los voluntarios en un programa de administración en un plazo de 5 años.
4. Dos especies de aves, ausentes durante 10 años antes del inicio del proyecto, volverán a reproducirse en el sitio en un plazo de 10 años;
5. Cohesión social renovada de la comunidad, centrada en un mejor sentido de pertenencia en comparación con los niveles de línea base en un plazo de 10 años;
6. Bosques de robles de Garry con más del 90% de especies de plantas nativas de un sitio de referencia en un plazo de 15 años; y,
7. La matriz herbácea entre los relictos recuperada con 80% de las especies de plantas nativas características de la pradera de robles de Garry en un plazo de 15 años.

METAS (ecológicas y sociales) medidas por indicadores específicos

1. Cese del pastoreo de ganado en 1 año;
2. Reducción de la abundancia de plantas no nativas a < 25% de la cobertura en 2 años;
3. Al menos 25 voluntarios se unen a un programa de administración en el que los vecinos constituyen más del 50% de los miembros en un plazo de 2 años;
4. Las tasas de reclutamiento de dos o más especies leñosas nativas aumentan 10% en ambos relictos de bosque en 5 años.
5. La densidad de plantas leñosas nativas aumenta al menos a 100 tallos/ha de árboles y 100 tallos/ha de arbustos en 3 años;
6. La riqueza de especies nativas en la pradera aumenta al menos a 6 especies de pastos y 10 especies de hierbas/10 m^2 en 5 años; y
7. Las visitas de campo de niños de las escuelas locales aumentan 50% en 5 años.

Tenga en cuenta que estos números son todos ejemplos hipotéticos y no una guía.

PRINCIPIO 6.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA BUSCA EL NIVEL MÁS ALTO DE RECUPERACIÓN POSIBLE



Un proyecto de restauración ecológica adopta el objetivo de lograr el mayor nivel de recuperación posible, en relación con los seis atributos del ecosistema de referencia. La recuperación, ya sea completa o parcial, toma tiempo y puede ser lenta. Por lo tanto, los gestores deben adoptar una política de mejoramiento continuo, sustentada en un monitoreo sólido. Este tipo de política puede permitir a los gestores incrementar y actualizar continuamente los objetivos del proyecto para avanzar de la recuperación inicial hacia resultados progresivamente mayores. Un enfoque para diseñar proyectos y seguir su progreso a lo largo del tiempo es utilizar el Sistema de las Cinco Estrellas y la Rueda de la Recuperación Ecológica.

LA RUEDA DE LA RECUPERACIÓN ECOLÓGICA Y EL SISTEMA DE LAS CINCO ESTRELLAS – GRANDES ASPIRACIONES

El Sistema de las Cinco Estrellas (Cuadros 3 y 4) y la Rueda de la Recuperación Ecológica (Fig. 4) se proponen como herramientas para ayudar a directores, practicantes y autoridades reguladoras a establecer, visualizar y comunicar el nivel de recuperación al que se aspira y para evaluar y seguir progresivamente el grado de recuperación del ecosistema nativo a través del tiempo en relación con el modelo de referencia. Estas herramientas también brindan un medio para reportar cambios desde la **condición de línea base** respecto a la referencia.

Es importante mencionar que el Sistema de las Cinco Estrellas se enfoca en las medidas ecológicas más que en las sociales; no se plantea como una herramienta para evaluar el progreso de un proyecto de restauración respecto a sus objetivos sociales (ver Principio 1). Más bien, se invita a los gestores a usar el Sistema de las Cinco Estrellas y la Rueda de la Recuperación Ecológica para ilustrar los objetos y objetivos ecológicos de su proyecto en relación a los seis atributos clave y para proporcionar un marco de monitoreo. La idea es aspirar alto y mostrar el progreso a lo largo del tiempo, incluso si una recuperación completa no es posible inicialmente o si el objetivo es menor que una recuperación completa.

Cuadro 3.

Resumen de estándares genéricos para niveles de recuperación de 1 a 5 estrellas. Cada nivel es acumulativo. Los diferentes atributos pueden tener diferentes grados debido a las diferentes tasas de respuesta a los tratamientos, así como a los objetivos del proyecto. En el cuadro 4 se presentan estándares genéricos más detallados para los seis atributos clave del ecosistema. Este sistema es aplicable a cualquier nivel de recuperación en el que se utilice un ecosistema de referencia.

NÚMERO DE ESTRELLAS	RESUMEN DE RESULTADOS DE RECUPERACIÓN
★	Prevención del deterioro en curso. Remediación de sustratos (físicamente y químicamente). Algún nivel de biota nativa presente; nichos de reclutamiento futuro no anulados por las características bióticas y abióticas. Se han planeado las mejoras futuras para todos los atributos considerados y se ha asegurado el manejo futuro del sitio.
★★	Las amenazas provenientes de las áreas adyacentes comienzan a ser manejadas o mitigadas. El sitio tiene un subconjunto pequeño de especies nativas características y una baja amenaza de especies indeseables. Se ha acordado la mejora de la conectividad con los propietarios adyacentes al sitio.
★★★	Las amenazas adyacentes se manejan o mitigan y hay una baja amenaza de especies indeseables en el sitio. Se establece un subconjunto moderado de especies nativas características y hay alguna evidencia de que comienza el funcionamiento del ecosistema. Hay evidencia de una mejora en la conectividad a escala de paisaje.
★★★★	Está presente un subconjunto sustancial de la biota característica (que representa a todos los agrupamientos de especies), que proporciona evidencia del desarrollo de la estructura de la comunidad y de los procesos ecosistémicos. Se ha establecido la mejora en la conectividad y se manejan o mitigan las amenazas circundantes.
★★★★★	Establecimiento de un conjunto característico de la biota hasta un punto en que es probable que se desarrolle la complejidad estructural y trófica hasta un nivel de similitud muy alto con el ecosistema de referencia con mínimas intervenciones adicionales de restauración. Los flujos adecuados a través de las fronteras están habilitados e inician y se restaura la resiliencia con el retorno de los regímenes de disturbio adecuados. Se han establecido acuerdos de manejo a largo plazo.

Cuadro 4.

Muestra de escala de recuperación de 1 a 5 estrellas interpretada en el contexto de los seis atributos clave del ecosistema utilizados para medir el progreso a lo largo de una trayectoria de recuperación. Esta escala de 5 estrellas representa un gradiente de muy baja a muy alta similitud con el modelo de referencia. Por tratarse de un marco genérico, los usuarios deben desarrollar indicadores y métricas de seguimiento específicas para el ecosistema y los sub-atributos que identifiquen.

ATRIBUTO	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Ausencia de amenazas	Se ha interrumpido el deterioro y se ha asegurado la tenencia y gestión del sitio..	Las amenazas provenientes de áreas adyacentes comienzan a ser manejadas o mitigadas..	Todas las amenazas adyacentes son gestionadas o mitigadas en un grado bajo.	Todas las amenazas adyacentes son gestionadas o mitigadas en un grado intermedio.	Todas las amenazas son gestionadas o mitigadas en un grado alto.
Condiciones físicas	Los problemas físicos y químicos graves se han remediado (p. ej., exceso de nitrógeno, pH alterado, alta salinidad, contaminación u otros daños al suelo o el agua).	Propiedades químicas y físicas del sustrato encaminadas correctamente.	El sustrato se ha estabilizado dentro del intervalo natural y sustenta el crecimiento de la biota nativa característica.	El sustrato mantiene de forma segura las condiciones adecuadas para el crecimiento en curso y el reclutamiento de la biota nativa característica.	El sustrato presenta características físicas y químicas muy similares a las del ecosistema de referencia, con evidencia de que puede sostener indefinidamente a las especies y los procesos
Composición de especies	Algunas especies nativas colonizadoras presentes (p. ej., ~2% de las especies del ecosistema de referencia). Amenaza in situ por especies invasoras no nativas o indeseadas moderada. Nichos de regeneración disponibles.	Establecimiento de un pequeño subconjunto de especies nativas características (p. ej., ~10% de las especies del ecosistema de referencia). Amenaza in situ po especies invasoras no nativas o indeseadas de baja a moderada.	Un subconjunto de especies nativas clave (p. ej., ~25% de las especies del ecosistema de referencia) se establece en proporciones sustanciales del sitio. Amenaza in situ por especies invasoras no nativas o indeseadas muy baja.	Se presenta una diversidad sustancial de la biota nativa característica (p. ej., ~60% de las especies del ecosistema de referencia) a través del sitio, que representa a una amplia diversidad de grupos de especies. Amenaza in situ por especies invasoras no nativas o indeseadas muy baja.	Se presenta una alta diversidad de especies nativas características (p.ej., >80% de las especies del ecosistema de referencia), con una alta similitud al ecosistema de referencia; potencial mejorado para la recolonización de más especies nativas a lo largo del tiempo. No se conocen amenazas in situ por especies indeseadas.

Cuadro 4. (continuado)

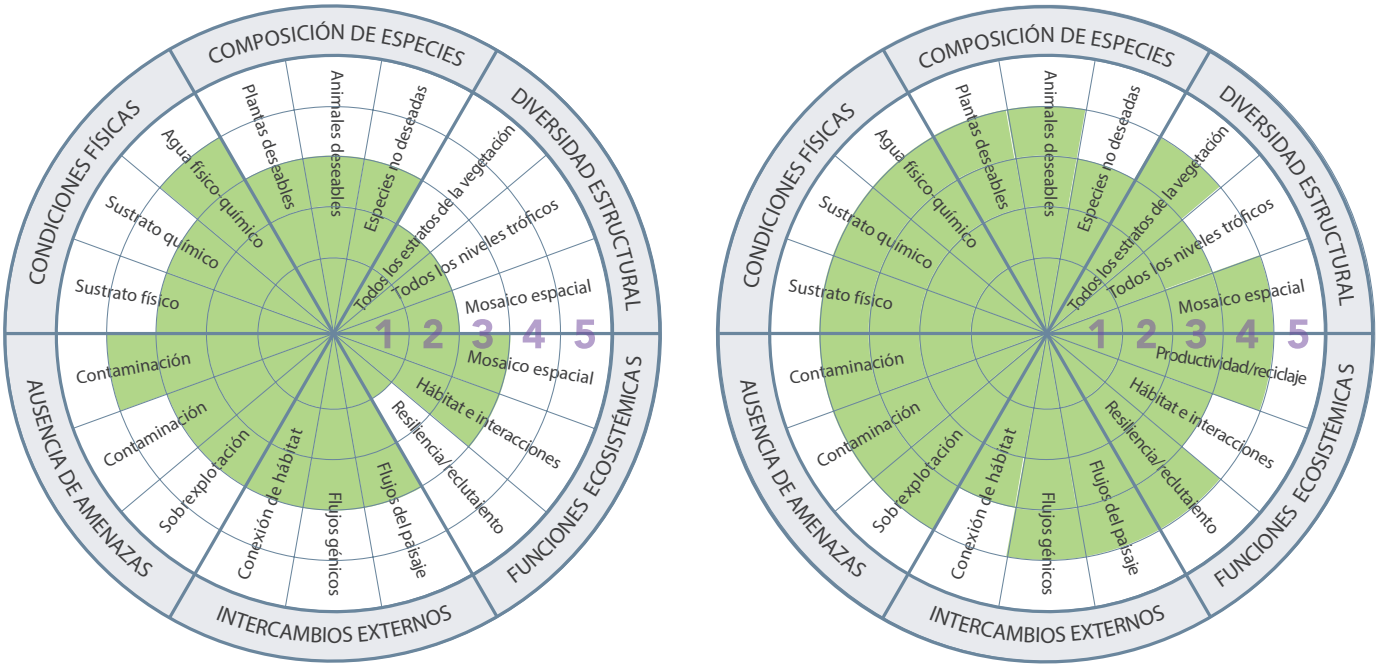
Muestra de escala de recuperación de 1 a 5 estrellas interpretada en el contexto de los seis atributos clave del ecosistema utilizados para medir el progreso a lo largo de una trayectoria de recuperación. Esta escala de 5 estrellas representa un gradiente de muy baja a muy alta similitud con el modelo de referencia. Por tratarse de un marco genérico, los usuarios deben desarrollar indicadores y métricas de seguimiento específicas para el ecosistema y los sub-atributos que identifiquen.

ATRIBUTO	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Diversidad estructural	Uno o menos estratos biológicos están presentes y no se presenta el patrón espacial o la complejidad trófica de la comunidad en relación con el ecosistema de referencia.	Más estratos están presentes, pero el patrón espacial y la complejidad trófica son bajos en relación con el ecosistema de referencia.	La mayoría de los estratos están presentes y hay algún patrón espacial y complejidad trófica en relación con el sitio de referencia.	Todos los estratos están presentes. Los patrones espaciales son evidentes y se desarrolla una complejidad trófica sustancial en relación con el ecosistema de referencia. .	Todos los estratos están presentes y los patrones espaciales y la complejidad trófica son altos. Hay capacidad de autoorganizar una mayor complejidad y patrones espaciales muy similares a los del ecosistema de referencia.
Funcionamiento del ecosistema	Los sustratos y la hidrología se encuentran en una fase básica, con capacidad de desarrollar funciones similares a las de referencia en el futuro.	Los sustratos y la hidrología muestran un potencial mejorado para una gama más amplia de funciones, incluyendo el reciclaje de nutrientes y la provisión de hábitats y recursos para otras especies.	Hay evidencia del inicio de funciones (p. ej., reciclaje de nutrientes, filtración del agua y provisión de hábitat y recursos para un conjunto de especies).	Hay evidencia sustancial del inicio de funciones y procesos clave, entre ellos la reproducción, dispersión y reclutamiento de especies nativas.	Hay evidencia considerable de que las funciones y procesos se encuentran en una trayectoria segura hacia la de la referencia y hay evidencia de la resiliencia del ecosistema, comprobada mediante el restablecimiento de regímenes de disturbio adecuados.

Cuadro 4. (continuado)

Muestra de escala de recuperación de 1 a 5 estrellas interpretada en el contexto de los seis atributos clave del ecosistema utilizados para medir el progreso a lo largo de una trayectoria de recuperación. Esta escala de 5 estrellas representa un gradiente de muy baja a muy alta similitud con el modelo de referencia. Por tratarse de un marco genérico, los usuarios deben desarrollar indicadores y métricas de seguimiento específicas para el ecosistema y los sub-atributos que identifiquen.

ATRIBUTO	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Intercambios externos	Se ha identificado el potencial para intercambios (p. ej., de especies, genes, agua, fuego) con el paisaje o el medio acuático circundantes.	Se han concertado acuerdos para que la conectividad aumente los intercambios positivos (y minimice los negativos), a través de la cooperación con los actores interesados. Se restablecen los vínculos.	Los intercambios positivos entre el sitio y el entorno externo son evidentes (p. ej., más especies, flujos genéticos, etc.).	Establecimiento de un alto nivel de intercambios positivos con otros ecosistemas nativos; control de especies indeseadas y disturbios.	Hay evidencia de que los intercambios externos son muy similares a los de la referencia y los acuerdos a largo plazo de gestión integrada con un paisaje más amplio son operativos.



La línea de base *10 años después*

Figura 4. *La Rueda de Recuperación Ecológica es una herramienta para transmitir el progreso de la recuperación de los atributos del ecosistema en comparación con los de un modelo de referencia. En este ejemplo, la primera rueda representa la condición de cada atributo evaluado durante la etapa de inventario de línea base del proyecto. La segunda rueda representa un proyecto de restauración de 10 años, donde más de la mitad de sus atributos han alcanzado una condición de 4 estrellas. Los practicantes familiarizados con los objetivos, metas, indicadores específicos del sitio y niveles de recuperación del proyecto logrados hasta la fecha pueden sombrear los segmentos para cada sub-atributo después de una evaluación formal o informal. Las plantillas en blanco para el diagrama y su formulario adjunto se encuentran en el Anexo 2. Se pueden agregar o modificar etiquetas de sub-atributos para representar mejor un proyecto en particular. Para la simetría del diseño, se utilizan tres atributos secundarios en este ejemplo, pero pueden necesitarse más o menos, según el proyecto.*

NOTAS PARA INTERPRETAR EL SISTEMA DE LAS CINCO ESTRELLAS

Se proporcionan varias respuestas a preguntas frecuentes:

- Desde su descripción en McDonald et al. (2016a), el Sistema de las Cinco Estrellas y la Rueda de la Recuperación Ecológica que lo acompañan han sido cada vez más adaptados y utilizados por practicantes y científicos en una amplia variedad de ecosistemas en todo el mundo (p. ej., ríos en el Reino Unido, arrecifes de coral en México, bosques y montes en Australia).
- La evaluación usando el Sistema de las Cinco Estrellas debe ser específica del sitio y la escala. El Sistema de las Cinco Estrellas se desarrolló para su implementación a nivel de sitio, pero puede aplicarse a nivel de programa evaluando los sitios por separado utilizando el Sistema de las Cinco Estrellas y luego agregando los datos de varios sitios para mostrar el grado de recuperación (promedio, mínimo, máximo) en programas más grandes.
- Los indicadores descritos en los Cuadros 3 y 4

son genéricos y los gestores deben interpretarlos más específicamente para adaptarse a su ecosistema o proyecto específico, ya sea terrestre o acuático.

- El Sistema de las Cinco Estrellas se puede usar como un marco para interpretar el monitoreo, ya sea cuantitativo o cualitativo. Las estrellas pueden cuantificarse fácilmente utilizando muchos sistemas de monitoreo y enfoques estadísticos, como los cocientes de respuesta (valor medio de una variable en el sitio de restauración entre su valor en el modelo de referencia), los cuales son empleadas comúnmente por científicos y practicantes para medir los resultados de la restauración. Independientemente de si se utilizan enfoques cuantitativos o cualitativos, es imperativo especificar explícitamente el nivel de detalle y el grado de formalidad del monitoreo del que se extraen las conclusiones. Esto significa que la Rueda de la Recuperación Ecológica o un cuadro de evaluación no deben usarse como evidencia del avance de la restauración sin citar también los datos de monitoreo en los cuales se basan.
- Cada atributo de un proyecto de restauración no inicia necesariamente asignando cero o una estrella. Esto se debe a que la asignación se hace con respecto a la similitud (o las diferencias) con el modelo de referencia, respecto a un conjunto de indicadores medibles relevantes para los sub-atributos. Los sitios que incluyen biota remanente y sustratos inalterados comenzarán en asignaciones más altas, mientras que los sitios con sustratos degradados o carentes de biota comenzarán en otras más bajas. Cualquiera que sea el punto de entrada del proyecto, el propósito será ayudar al progreso del ecosistema a lo largo de la trayectoria de recuperación tanto como sea posible. Una puntuación de 0-estrellas se registraría en informes escritos o como un cero en hojas de cálculo y se representaría con una celda vacía en la Rueda de la Recuperación Ecológica.
- Al agregar colores o patrones adicionales, o al crear Ruedas de Recuperación secuenciales, el usuario puede mostrar la condición de línea base, la condición final propuesta y las condiciones en múltiples puntos durante el proceso de recuperación.
- El Sistema de las Cinco Estrellas no se propone evaluar el desempeño individual de los practicantes o el valor de los proyectos. Algunos proyectos, debido a las limitaciones del sitio, no pueden aspirar a cinco estrellas.

PRINCIPIO 7.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA ACUMULA VALOR CUANDO SE APLICA A GRANDES ESCALAS



Cada proyecto de restauración ecológica puede tener resultados positivos independientemente de su magnitud, incluyendo incrementos en los números y tamaños de las poblaciones de especies agotadas, la reducción de poblaciones de especies invasoras y otras amenazas y mejoras en las funciones del ecosistema como el reciclaje de nutrientes. Sin embargo, muchos procesos ecológicos funcionan a escalas de paisaje, de cuencas y regionales (p. ej., flujo genético, colonización, depredación, perturbaciones ecológicas). La degradación que ocurre a escalas mayores puede derrotar a los esfuerzos de restauración más pequeños. Por ejemplo, las especies con los mayores requisitos mínimos de hábitat o que requieren una complejidad trófica mayor no pueden ser alojadas en proyectos pequeños. Para contrarrestar el cambio climático se necesita urgentemente incrementar significativamente las tasas de **secuestro de carbono** a través de una mayor producción de biomasa vegetal y animal (incluida la biomasa en los suelos). De forma similar, la seguridad hídrica (en términos de calidad, cantidad y flujos) se alcanza más eficientemente cuando se trabaja a escala de paisaje y se integran sistemas terrestres y acuáticos. Por consiguiente, algunos proyectos de restauración ecológica deben desarrollarse a gran escala (p. ej., cientos o miles de hectáreas) para proporcionar los beneficios ambientales y ecológicos deseados. Adicionalmente, la planeación y priorización de actividades a escala de sitio son necesarias como parte de los esfuerzos integrados de planificación del paisaje (ver Sección 4, Parte 3). La planificación a escala de paisaje puede ayudar a evitar situaciones en las cuales los usos productivos de un sitio de restauración ecológica (p. ej., agrícola o forestal) simplemente se trasladan a otras áreas, lo que causa degradación adicional. La planificación de la restauración ecológica a escalas mayores debe garantizar que los esfuerzos de restauración resulten en un cambio de paisaje positivo neto.

DESAFÍOS Y SOLUCIONES POTENCIALES

El aumento del alcance de la restauración ecológica puede conllevar algunas economías de mayor escala, pero también puede aumentar el riesgo de extralimitarse en recursos financieros, institucionales y de infraestructura, en especial donde las respuestas de los ecosistemas a los tratamientos son impredecibles. Los desafíos sociales incluyen identificar a todas las partes interesadas relevantes y sus necesidades e intereses particulares y lograr acuerdos entre partes con intereses contrarios, especialmente cuando las instituciones políticas son débiles, o donde existen fuertes desigualdades económicas y de poder entre los propietarios de tierras. Se necesita un mecanismo como la planificación participativa del uso del suelo para tratar con estos desacuerdos. Para problemas sensibles a la escala y el tiempo, los tratamientos generalmente se prueban a pequeña escala antes de aplicarlos más ampliamente. En algunos casos, invertir en mejoras graduales a escalas mayores (p. ej., para controlar amenazas como las especies invasoras o la contaminación por

fuentes no puntuales), puede conseguir mejores resultados que un trabajo más intenso a menores escalas o durante periodos de tiempo menores. El aumento de la escala en un proyecto de restauración confiere una ventaja, sin embargo, sólo donde represente un aumento en la escala a la que mejoran los beneficios (p. ej., mayor abundancia de especies nativas, menor abundancia de especies de plagas, o mayor secuestro de carbono).
Por esta razón, y para evitar subvalorar proyectos más pequeños que pueden ser de gran importancia ecológica (p. ej., la restauración de pantanos pequeños), la escala debe evaluarse sólo como un multiplicador de los otros valores alcanzados. Al predecir si es probable que un proyecto haga aportaciones a mayores escalas debe considerarse el intervalo de co-beneficios potenciales (Cuadro 5). Además, las funciones a gran escala pueden mejorar por la vía de un aumento en la conectividad benéfica (p. ej., corredores de vida silvestre), incluidas las conexiones con sitios adyacentes sometidos a intervenciones recuperativas (Principio 8; Sección 4, Parte 3). Es importante tener en cuenta que el valor acumulativo puede alcanzarse sólo a largo plazo, lo que significa que quienes invierten en las fases iniciales de la restauración pueden no beneficiarse directamente.

Un mecanismo para escalar la restauración ecológica es asegurar que los proyectos se integren estratégicamente en **programas de restauración** más grandes que contengan múltiples proyectos que involucren no sólo a la restauración, sino también otras actividades recuperativas desarrolladas en diferentes unidades de paisaje, con diversos socios que cambian a lo largo del tiempo. Éstos pueden consistir de muchos sitios con proyectos de restauración que están ligados funcional y físicamente. Un programa de restauración ecológica a gran escala típicamente es coordinado por una coalición de



Ibis blanco.
Derechos de autor de la foto Marcel Huijser

agencias gubernamentales, organizaciones sin ánimo de lucro, jardines botánicos y otros aliados, e involucra procesos de planificación extensos y complejos. Entre los ejemplos se incluye el *Comprehensive Everglades Restoration Plan* (Plan Integral de Restauración de los Everglades), y el *Forest Restoration Pact in Brazil* (Pacto de Restauración del Bosque Atlántico en Brasil), ambas coaliciones de agencias gubernamentales, sector privado, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) e instituciones de investigación. Las áreas y proyectos de restauración muy grandes pueden generar desafíos para seleccionar objetos y desarrollar modelos de referencia, debido a su complejidad o a la falta de sitios de referencia comparables (ver Sección 4, Parte 1), aunque nuevas herramientas como los sensores LiDAR pueden ayudar a superar estos desafíos en algunos paisajes.

Cuadro 5.

Características del proyecto que contribuyen a su potencial para mejorar la recuperación del ecosistema, particularmente a escala. Para un éxito óptimo, el proyecto debe basarse en información ecológica sólida y estar bien insertado en las culturas e instituciones locales.

CARACTERÍSTICA	EJEMPLOS
Ubicación estratégica y oportuna	Los proyectos de restauración implementan estrategias que aprovechan al máximo los recursos escasos y los puntos de apoyo conocidos para una restauración efectiva. Los proyectos se priorizan en función de: (1) los objetivos más urgentes o que aceleran la consecución de otros objetivos y (2) las zonas con mayor potencial de recuperación.
Reducción del riesgo de extinción	Los proyectos tienen un valor agregado cuando ayudan a recuperar poblaciones, especies o ecosistemas amenazados. Esta labor se rige por las listas formales existentes en muchos países, generalmente vinculadas a o coherentes con las Listas Rojas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).
Amenazas generalizadas	Los proyectos que abordan amenazas a gran escala o extendidas pueden influir en áreas mucho más allá del sitio del proyecto. Por ejemplo, los proyectos que logran una captación de carbono sustancial, reducen la contaminación de los cursos de agua o controlan plagas vegetales o animales, mejoran los resultados a nivel local y contribuyen a mejorar los resultados en otros lugares.
Seguridad de apoyo institucional	Los proyectos a gran escala requieren de garantías a largo plazo para asegurar que los beneficios resultantes de los recursos invertidos persistan en el tiempo. Es idóneo lograr la protección formal del sitio mediante acuerdos legales de tenencia, así como asegurar compromisos políticos y económicos a largo plazo por parte de los principales actores institucionales públicos y privados a escala local, regional o nacional.

PRINCIPIO 8.

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA ES PARTE DE UN CONTINUO DE ACTIVIDADES RECUPERATIVAS



A medida que la degradación de los ecosistemas continúa a nivel mundial, muchos países y comunidades están adoptando políticas y medidas diseñadas para conservar la biodiversidad, recuperar la integridad ecológica y la resiliencia, mejorar la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos y transformar la manera en que las sociedades se relacionan con la naturaleza. La restauración ecológica forma parte de una gama o familia de **actividades recuperativas** que pueden concebirse como parte de un continuo, dentro del cual el grado de distinción entre un tipo de actividad y otro es muy pequeño, pero al considerar desde la acción más elemental hasta la más avanzada, la distinción es bastante significativa. Una actividad recuperativa es aquélla que apoya o logra directa o indirectamente la recuperación de atributos del ecosistema que se han perdido o degradado. Conceptualmente, el **continuo recuperativo** (p. ej., como se muestra en la Fig. 5) ofrece un enfoque holístico para reparar los ecosistemas del mundo, permitiendo a los practicantes aplicar los tratamientos más adecuados y efectivos de acuerdo con las condiciones ecológicas, sociales y financieras (tanto oportunidades como restricciones). El continuo restaurativo proporciona un contexto para comprender cómo las diferentes actividades se relacionan entre sí, al tiempo que ayuda a identificar las prácticas que más se adaptan a un contexto particular. El continuo incluye cuatro categorías principales de prácticas recuperativas:

(1) **impactos sociales reducidos** (es decir, en acciones que reducen los impactos por medio de formas menos dañinas de consumir y usar los servicios ecosistémicos a través de todos los sectores; Recuadro 8);
(2) **remediación** (p. ej., de sitios contaminados);
(3) **rehabilitación** (p. ej., de áreas que incluyen las usadas para la producción o los asentamientos humanos; Recuadro 9); y
(4) **restauración ecológica.**

Las prácticas de reducción de impactos sociales, de remediación y de rehabilitación son actividades recuperativas en la medida en que reducen las causas y los efectos continuos de la degradación, mejoran el potencial de recuperación de los ecosistemas y promueven una transición hacia la sostenibilidad. En ese sentido, también se consideran como **actividades aliadas** de la restauración ecológica. Algunos proyectos o programas pueden incluir más de una categoría, en particular los que se desarrollan en marcos operativos más amplios, como las soluciones basadas en la naturaleza (incluidas las **infraestructuras verdes**), y la **Restauración del Paisaje Forestal** (RPF). Estos marcos incorporan a menudo una o más actividades aliadas simultáneas al proceso de restauración ecológica. Para ser consideradas recuperativas, los esfuerzos a nivel de proyecto o paisaje deben resultar en un efecto positivo neto en las condiciones ambientales. Por ejemplo, las actividades que no mejoran o no mejorarán las condiciones ambientales actuales o aquellas que causan daños (p. ej., la **repoblación**

forestal de praderas nativas que causan una pérdida neta de biodiversidad) no califican como recuperativas.

La restauración ecológica y las actividades aliadas pueden verse como un todo integrado en un amplio paradigma de sostenibilidad (ver Sección 4, Parte 3), más que como actividades desconectadas o en competencia. Las actividades recuperativas son acumulativamente beneficiosas, mejorando los resultados de un nivel al siguiente. Los marcos conceptuales y las mejores prácticas de restauración ecológica transmitidas en estos Estándares pueden inspirar y sustentar muchas acciones que se pueden implementar para mejorar la salud general y la resiliencia del ambiente.

La conceptualización de las acciones de manejo por medio de este continuo (junto con la comprensión de los principios y estándares de restauración ecológica) debería ayudar a los gobiernos, industrias y comunidades a conseguir mejoras integradas de "ganancia neta" en condiciones que acelerarán cambios positivos a escalas mayores (Principio 7). Las recomendaciones de medidas de desempeño para actividades recuperativas a través de diversos sectores industriales, gubernamentales y comunitarios se encuentran en el Cuadro 6. Independientemente del sector o contexto, es beneficioso adoptar prácticas de mejoramiento continuo y priorizar la implementación de la restauración ecológica como la actividad recuperativa preferida, siempre que sea posible. Donde la restauración ecológica es inadecuada o inviable (p. ej., donde la remediación o la reducción de impactos sociales pueden ser la única opción), el trabajo recuperativo debe aspirar al nivel de recuperación más alto posible. Al igual que con la restauración ecológica, las mejoras pequeñas y continuas de las actividades aliadas pueden acumularse a gran escala.



Figura 5. *El Continuo Recuperativo incluye una variedad de actividades e intervenciones que pueden mejorar las condiciones ambientales y revertir la degradación del ecosistema y la fragmentación del paisaje. El continuo destaca las interconexiones entre estas diferentes actividades y reconoce que las características específicas de la localidad programada para las acciones recuperativas dictan las actividades más adecuadas para las diferentes unidades del paisaje. A medida que nos movemos de izquierda a derecha en el continuo, aumentan la salud ecológica y la biodiversidad y la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos. Tenga en cuenta que la restauración ecológica puede ocurrir en paisajes urbanos, suburbanos, agrícolas e industriales.*

Recuadro 8

IMPACTOS REDUCIDOS

En el contexto de la degradación ambiental global, hay una necesidad urgente de encontrar formas de reducir los impactos ambientales adversos que se derivan de la forma en que las sociedades extraen, producen, comercializan, consumen y desechan los bienes ecosistémicos. Desde la perspectiva de la producción, el aumento de la regulación en muchas regiones del mundo está resultando en mejores metodologías agropecuarias, forestales, pesqueras y mineras, basadas en información ecológica. Estas actividades tienen el potencial de reducir los impactos negativos de la contaminación, la fragmentación de ecosistemas intactos, la continuación de la eliminación de ecosistemas nativos, la sobreexplotación y la propagación de especies invasoras. Desde la perspectiva del consumo, una combinación de regulación y crecientes expectativas sociales está cambiando algunas prácticas de manufactura y comportamientos sociales, particularmente en áreas urbanas donde más de la mitad de la población mundial ahora consume bienes y servicios a tasas per cápita crecientes. Si bien las soluciones pueden ser evasivas y las máscaras verdes comunes, las actividades que genuinamente aspiran a mitigar o lograr una reducción neta de los impactos humanos (y así mejorar el potencial de recuperación ecosistémica) pueden considerarse aliadas de la restauración ecológica y claramente son parte del continuo recuperativo.

Recuadro 9

REHABILITACIÓN

La rehabilitación es un término genérico que se utiliza para las actividades de reparación ecológica orientadas a restaurar el funcionamiento del ecosistema más que la biodiversidad e integridad de un ecosistema de referencia nativo designado. Las actividades de rehabilitación se adaptan bien a una variedad amplia de sectores de gestión terrestre y acuática, donde la recuperación significativa de los ecosistemas nativos no es posible o deseable debido a necesidades humanas legítimas en competencia. Cuando la rehabilitación se utiliza para territorios mineros o sitios postindustriales, a veces se denomina reclamación. Puede seguirse el progreso de la recuperación ecológica de muchos proyectos de rehabilitación usando el Sistema de las Cinco Estrellas y la Rueda de Recuperación Ecológica, donde se pueden demostrar los avances en uno o más atributos del ecosistema. Para utilizar la rueda de recuperación como demostración del progreso hacia la rehabilitación, el perímetro externo de la rueda serían los valores deseados de los atributos clave del ecosistema, en lugar de los valores de estos atributos en el modelo de referencia del ecosistema nativo. Bajo el concepto de "mejoramiento continuo" (Véase el Principio 6), los proyectos de rehabilitación que logren algunas mejoras en las condiciones ecológicas pueden ser luego destinados a restauración ecológica. Por ejemplo, donde la revegetación de un pastizal degradado, o de un antiguo sitio minero, con una mezcla de especies vegetales nativas y no nativas y microsimbiontes nativos ha resultado en un mejor funcionamiento del suelo, se pueden desarrollar planes de restauración que incluyan la cosecha de especies no nativas y su reemplazo por nativas, así como ejecutar otras acciones para ayudar al sistema a recuperarse a la condición en la que estaría si no se hubiera producido la degradación. En algunos casos donde el suelo se ha estabilizado con especies no nativas, se pueden agregar especies nativas (o ayudar a que se recuperen espontáneamente) y eliminar las especies no nativas para finalmente ayudar a la recuperación de un ecosistema nativo.

Cuadro 6.

Medidas de desempeño recomendadas para actividades recuperativas en una variedad de sectores o contextos de la industria, el gobierno y la comunidad. Nota: La puntuación "Estrella" se refiere al Sistema de las Cinco Estrellas descrito en el Principio 6. A menos que se especifique lo contrario, se asume que las puntuaciones de las estrellas en este cuadro son un promedio de los 6 atributos.

SECTOR O CONTEXTO	ACTIVIDAD RECUPERATIVA Y ESTÁNDAR DE DESEMPÉÑO RECOMENDADO
Gestión de áreas protegidas	• Ecosistemas nativos con potencial de recuperación total: restauración ecológica a nivel de 5 estrellas. • Ecosistemas nativos con potencial de recuperación parcial del ecosistema: restauración ecológica idealmente a nivel de 4 estrellas, pero con un nivel mínimo de 3 estrellas. • Programas o actividades de recuperación de una sola especie: componentes altamente valorados de programas más amplios que deberían aspirar a los estándares más altos.
Áreas de conservación urbana y zonas verdes	• Ecosistemas nativos con potencial de recuperación total para algunos atributos: restauración ecológica a nivel de 5 estrellas siempre que sea posible, o como mínimo a nivel de 4 estrellas. • Ecosistemas nativos o áreas adyacentes a ellos solo con potencial de recuperación parcial: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo a nivel de 3 estrellas para los atributos biológicos. • Parques y jardines transformados: rehabilitación a un nivel mínimo de 2 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible sin efectos perjudiciales en ecosistemas nativos y, de ser posible, suministro de beneficios ecológicos adicionales al ecosistema nativo.
Silvicultura	• Restauración de bosques nativos para la conservación de la biodiversidad: restauración ecológica a nivel de 5 estrellas. • Silvicultura nativa: restauración ecológica a nivel de 4-5 estrellas (entre ciclos de tala). • Reforestación adyacente a los ecosistemas nativos: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo al nivel de 3 estrellas. • Reforestación principalmente para servicios ecosistémicos: rehabilitación a un nivel mínimo de 2-3 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible (entre ciclos de tala) sin efectos perjudiciales en ecosistemas nativos, preferiblemente con beneficios ecológicos adicionales.
Pesca	• Ecosistemas nativos con potencial de recuperación total: restauración ecológica a nivel de 5 estrellas. • Ecosistemas nativos solo con potencial de recuperación parcial: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo a nivel de 3 estrellas. • Actividades adyacentes a ecosistemas nativos: rehabilitación a un nivel mínimo de 2 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible sin efectos perjudiciales en ecosistemas nativos, preferiblemente con beneficios ecológicos adicionales.

Cuadro 6. (continuado)

Medidas de desempeño recomendadas para actividades recuperativas en una variedad de sectores o contextos de la industria, el gobierno y la comunidad. Nota: La puntuación "Estrella" se refiere al Sistema de las Cinco Estrellas descrito en el Principio 6. A menos que se especifique lo contrario, se asume que las puntuaciones de las estrellas en este cuadro son un promedio de los 6 atributos.

SECTOR O CONTEXTO	ACTIVIDAD RECUPERATIVA Y ESTÁNDAR DE DESEMPÉÑO RECOMENDADO
Corredores de servicios	• Ecosistemas nativos con potencial de recuperación total: restauración ecológica a nivel de 5 estrellas. • Ecosistemas nativos o áreas adyacentes a ecosistemas nativos con solo potencial de recuperación parcial: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo a nivel de 3 estrellas para los atributos biológicos. • Al interior de corredores de servicios (no de los ecosistemas nativos): rehabilitación a un nivel mínimo de 2 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible sin efectos perjudiciales, preferiblemente con beneficios ecológicos adicionales para ecosistemas nativos.
Agricultura y horticultura de producción	• Ecosistemas nativos con potencial de recuperación total: restauración ecológica idealmente a nivel de 5 estrellas. • Recuperación de la productividad agrícola / agricultura ecológica adyacente a ecosistemas nativos: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo a nivel de 3 estrellas. • Ecosistemas nativos con solo potencial de recuperación parcial: restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, pero como mínimo a nivel de 2-3 estrellas para, por lo menos, los atributos biológicos.Recuperación de la capacidad agrícola para brindar servicios ecosistémicos: rehabilitación a un nivel mínimo de 2 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible sin efectos perjudiciales en ecosistemas nativos, preferiblemente con beneficios ecológicos adicionales.
Sitios de minería, canteras y perforación de yacimientos de petróleo y gas	• Cuando los ecosistemas nativos intactos o casi intactos se ven afectados (ecosistemas nativos con potencial de recuperación total): restauración ecológica a nivel de 5 estrellas. • Cuando los ecosistemas nativos degradados se ven afectados (ecosistemas nativos con potencial de recuperación únicamente parcial): restauración ecológica al nivel más alto al que se pueda aspirar, es decir a nivel de 3 estrellas o superior. • Impactos en unidades de paisaje ya transformadas (reasignadas) con bajo potencial de recuperación nativa: rehabilitación a nivel de 1-2 estrellas para el atributo de función del ecosistema o, como mínimo, uso sostenible sin efectos perjudiciales en ecosistemas nativos, preferiblemente con beneficios ecológicos adicionales.

3 SECCIÓN 3 – ESTÁNDARES DE PRÁCTICAS PARA LA PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

A continuación, se enlistan las prácticas estándar específicas utilizadas en: (1) la planificación y el diseño, (2) la implementación, (3) el monitoreo y la evaluación, y (4) el mantenimiento de los proyectos de restauración ecológica después de finalizados, en particular cuando hay personal profesional o contratistas involucrados. Estos Estándares de Práctica incorporan plenamente el Código de Ética de la SER (SER 2013). Son adaptables al tamaño, complejidad, grado de degradación, estatus regulatorio y presupuesto de cualquier proyecto, pero no todos los pasos serán posibles para todos los proyectos. Los pasos descritos en los estándares no siempre son secuenciales. Por ejemplo, los estándares incluyen el monitoreo después de la implementación, ya que el grueso de los esfuerzos de monitoreo puede realizarse después del tratamiento; sin embargo, las actividades críticas para el monitoreo deben comenzar antes del inicio del proyecto, debido a la necesidad de diseñar planes de monitoreo, elaborar presupuestos y asegurar la financiación y recopilar datos antes de la implementación de los tratamientos de restauración.



1. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

1.1 **Compromiso de las partes interesadas.** La participación significativa, informada y recíproca se lleva a cabo preferiblemente desde la etapa inicial de planificación de un proyecto de restauración con todas las partes interesadas clave (incluidos los propietarios o gestores de tierras o aguas, los intereses de la industria, los vecinos y la comunidad local e indígena) y continúa a lo largo de toda la duración del proyecto. Lo ideal es que la participación incluya la capacitación de la población local para realizar un monitoreo comprometido a largo plazo y la generación y difusión de conocimiento colaborativo. Los pasos clave son:

1.1.1 Incluir un cronograma para la participación de las partes interesadas a lo largo del periodo de vida del proyecto. En lo posible, se implementan la planificación participativa y el diseño conjunto del plan de restauración, y se incluyen la formación y el desarrollo de capacidades de la comunidad local (Véase la herramienta: Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación).

1.1.2 Actuar con la debida diligencia para garantizar que los derechos de las partes interesadas, incluida la tenencia de la tierra, se comprendan y respeten durante todo el proceso de restauración.

1.2 **Evaluación del contexto.** Los planes y los compromisos de las partes interesadas se basan en los objetivos y prioridades de conservación y sostenibilidad local y regional, y planificación espacial, además:

1.2.1 Incluyen diagramas o mapas del proyecto en relación con el paisaje o ambiente acuático que lo rodea;

1.2.2 Identifican formas de mejorar la conectividad beneficiosa entre los hábitats en el sitio de restauración e incrementar los intercambios ecológicos externos favorables con otros ecosistemas nativos, para mejorar los flujos y procesos a nivel de paisaje, incluyendo la colonización y el flujo de genes entre sitios; y

1.2.3 Especifican estrategias para garantizar la continuidad de la gestión futura, a fin de alinear e integrar el proyecto con la gestión de los ecosistemas nativos y los paisajes productivos cercanos.

1.3 **Evaluación de la seguridad de la tenencia del sitio y programación del mantenimiento post-tratamiento.** Se requiere evidencia del potencial del sitio para el manejo de conservación a largo plazo antes de invertir en la restauración. Por tanto, los planes de restauración deben:

1.3.1 Identificar la seguridad de la tenencia del sitio para permitir la restauración a largo plazo y permitir el acceso continuo, apropiado para el monitoreo y la gestión; e

1.3.2 Identificar el plan para el mantenimiento del sitio después de que finaliza el proyecto, para asegurarse de que el sitio no retroceda a un estado degradado.

1.4 **Inventario de referencia o línea base.** El inventario de línea base documenta las causas, la intensidad y el alcance de la degradación, y describe los efectos de la degradación en la biota y el medio ambiente físico en relación con los seis atributos del ecosistema. En consecuencia, los planes deben:

1.4.1 Identificar especies nativas, ruderales y no nativas que

persisten en el sitio, particularmente especies o comunidades amenazadas y especies invasoras;

1.4.2 Registrar el estado de las condiciones abióticas actuales (a través de fotografías y otros medios), incluidas las dimensiones, la configuración y las condiciones físicas y químicas de los arroyos, cuerpos de agua, columna de agua, superficies terrestres, suelos o cualquier otro elemento material, en relación con las condiciones anteriores o cambiantes;

1.4.3 Detectar el tipo y grado de impulsores y amenazas que han causado degradación en el sitio y formas de eliminarlos, mitigarlos o adaptarse a ellos (para una Taxonomía de Amenazas Estándar, consulte los Estándares Abiertos de Clasificación de Amenazas/*Open Standards Threats Classification*). Esto incluye la evaluación de:

- Los impactos históricos, actuales y anticipados dentro y fuera del sitio (p. ej., sobreutilización, sedimentación, fragmentación, plagas vegetales y animales, impactos hidrológicos, contaminación, regímenes alterados de disturbios) y formas de manejarlos, eliminarlos o adaptarse a ellos.
- Descripción de las necesidades de suplementación de diversidad genética para especies reducidas a poblaciones no viables debido a la fragmentación (Ver Anexo 1); y,
- Efectos actuales y previstos del cambio climático (p. ej., temperatura, lluvia, nivel del mar, acidez marina) en las especies y genotipos con respecto a la probable viabilidad futura.

1.4.4 Identificar la capacidad relativa de la biota en el sitio o fuera de él para comenzar y continuar la recuperación con o sin asistencia. Esto incluye realizar un inventario que incluya:

- Una lista de especies nativas y no nativas que se presume están ausentes y aquéllas que potencialmente persisten como propágulos o se encuentran dentro de la distancia de colonización;
- Un mapa de áreas de condiciones distintas, incluidas las etapas sucesionales presentes, las áreas de recuperación prioritarias y cualquiera de las áreas espaciales distintas que requieran de tratamientos diferentes;

1.5 **Ecosistema(s) de referencia nativo(s) y modelos de referencia.** Los planes identifican ecosistemas de referencia nativos objeto y un modelo de referencia apropiado (Principio 3; Sección 4, Parte 1) basado en múltiples indicadores de los seis atributos clave del ecosistema (Cuadro 2; Fig. 4) en un número adecuado de sitios de referencia. En algunos casos, las descripciones de ecosistemas intactos pueden estar disponibles en evaluaciones o modelos previos o guías de agencias ambientales. Específicamente, los planes:

1.5.1 Documentan las características del sustrato (biótico o abiótico, acuático o terrestre);

1.5.2 Enumeran las principales especies características (que representan todas las formas de crecimiento de las plantas y los grupos funcionales de micro y macrofauna, incluidas las especies pioneras y amenazadas);

1.5.3 Identifican los atributos funcionales del ecosistema, incluidos los ciclos de nutrientes, regímenes de disturbio y de flujo característicos, rutas sucesionales, interacciones planta-animal, intercambios ecosistémicos y cualquier dependencia de la perturbación de las especies que lo componen;

1.5.4 Identifican cualesquiera de los mosaicos ecológicos que requieran del uso de múltiples ecosistemas de referencia en un sitio.

1.5.5 En los casos en que los ecosistemas existentes estén siendo perturbados y luego restaurados, los ecosistemas intactos preexistentes deben mapearse en detalle antes de la perturbación del sitio;

1.5.6 Evalúan las necesidades de hábitat de la biota focal (incluidos cualesquiera rangos mínimos de la fauna y las respuestas a las presiones de degradación y a los tratamientos de restauración).

1.6 **Visión, objetos, objetivos y metas.** Se necesitan objetivos y metas claros y medibles para identificar las acciones más adecuadas, asegurar que todos los participantes en el proyecto tengan una comprensión común del mismo y medir el progreso (ver Monitoreo a continuación). Los planes deben indicar claramente:

1.6.1 La visión del proyecto y los objetos ecológicos y sociales, incluyendo una descripción del sitio y del ecosistema nativo a ser restaurado;

1.6.2 Objetivos ecológicos y sociales, incluido el nivel de recuperación ecológica buscado (p.ej., la condición o estado de los atributos del ecosistema que se pretende alcanzar). En los casos de recuperación total, esto estará

plenamente alineado con el modelo de referencia, mientras que en los casos de recuperación parcial se incluirán elementos que varíen de la referencia en algún grado. Los objetivos ecológicos deben cuantificar, cuando sea posible, el grado en que los atributos del ecosistema de referencia deben ser alcanzados. Los objetivos sociales deben ser explícitos y realistas, teniendo en cuenta el marco temporal y el capital social disponible en la zona.

1.6.3 Las metas son los cambios y resultados inmediatos necesarios para alcanzar el objeto y objetivos en relación con cualesquiera de las áreas espaciales perceptiblemente diferentes dentro del sitio. Las metas se enuncian en términos de indicadores medibles y cuantificables, para determinar si el proyecto las está alcanzando o no en los plazos establecidos. Además de los indicadores, las metas deben incluir acciones, cantidades y plazos específicos.

1.7 **Recomendaciones para el tratamiento de restauración.** Los planes deben contener propuestas de tratamientos claramente establecidas para cada zona de restauración distinta, en las que se describe qué, cómo, en dónde y por quién se realizarán los tratamientos, y su orden o prioridad. Cuando falte el conocimiento o la experiencia, será necesario el manejo adaptativo o la investigación dirigida a brindar información sobre las propuestas apropiadas. Si existe incertidumbre, el Principio de Precaución debe aplicarse, de forma que se reduzca el riesgo ambiental. Los planes deben:

1.7.1 Describir las medidas que se adoptarán para eliminar y mitigar los problemas causales, o adaptarse a ellos; y macrofauna, incluyendo especies pioneras y amenazadas;

1.7.2 Identificar y justificar enfoques de restauración específicos, descripciones de tratamientos específicos para cada área de restauración y priorización de acciones. Dependiendo de la condición del sitio, esto incluye la identificación de:

- Las mejoras en la forma, configuración, química u otra condición física de los elementos abióticos, con el fin de hacerlos aptos para la recuperación de la biota objeto y la estructura y funciones del ecosistema;
- Estrategias y técnicas eficaces y ecológicamente adecuadas para controlar las especies indeseables, con el fin de proteger a las especies deseables, sus hábitats y el sitio;

- Métodos ecológicamente adecuados para facilitar la regeneración o lograr la reintroducción de cualquier especie faltante;
- Estrategias ecológicamente adecuadas para enfrentar circunstancias en las que la especie o el acervo genético ideal no esté disponible de inmediato (p.ej., dejando espacios para reintroducciones en temporadas posteriores); y
- Selección de especies adecuadas, recursos genéticos y obtención de biota que será reintroducida (ver Anexo 1).

1.8 **Análisis de la logística.** Antes de emprender un plan de restauración es necesario analizar el potencial para dotar de recursos al proyecto y los posibles riesgos. Para abordar las limitaciones y oportunidades prácticas, se debe:

1.8.1 Identificar la financiación, la mano de obra (incluido el nivel de destreza apropiado) y otros recursos que posibiliten los tratamientos adecuados (incluidos los tratamientos de seguimiento y monitoreo), hasta que el sitio alcance una condición estable;

1.8.2 Realizar una evaluación completa de los riesgos e identificar una estrategia de gestión de riesgos para el proyecto, que incluya en particular acuerdos de contingencia para cambios inesperados en las condiciones ambientales, la financiación o los recursos humanos;

1.8.3 Desarrollar un cronograma del proyecto y la justificación de la duración del mismo (p. ej., utilizando un diagrama de planificación);

1.8.4 Identificar formas de mantener el compromiso con los objetos, objetivos y las metas del proyecto a lo largo de toda su duración, incluidos el apoyo político y financiero; y

1.8.5 Obtener los permisos y autorizaciones, y abordar las limitaciones jurídicas que rigen en el sitio y al proyecto, incluidas la tenencia de la tierra y las reclamaciones de propiedad.

1.9 **Establecimiento del proceso para la revisión del proyecto.** Los planes incluyen un cronograma y un marco temporal para:

1.9.1 Llevar a cabo una revisión por las partes interesadas y revisores independientes, según sea necesario; y

1.9.2 Implementar una revisión del plan a la luz de los nuevos conocimientos, las condiciones ambientales cambiantes y las lecciones aprendidas.

1.9.3 Tenga en cuenta cualquier mosaico ecológico que requiera el uso de múltiples ecosistemas de referencia en un sitio.

1.9.4 En los casos en que los ecosistemas existentes estén siendo alterados y luego restaurados, los ecosistemas intactos preexistentes deben mapearse en detalle antes de la alteración del sitio.

1.9.5 Evaluar las necesidades de hábitat de la biota focal (incluidos los rangos mínimos de fauna y las respuestas a las presiones de degradación y tratamientos de restauración)



2. IMPLEMENTACIÓN

La fase de implementación puede ser corta o larga, dependiendo del proyecto y las circunstancias. El monitoreo y el manejo adaptativo pueden prescribir intervenciones de restauración después de que se haya completado un proyecto o una etapa inicial. Durante la fase de implementación, los proyectos de restauración son gestionados para:

2.1 **Proteger el sitio de daños.** Los trabajos de restauración no causan daños adicionales o duraderos a ningún recurso natural o elemento del área terrestre o acuática impactados por el proyecto, incluidos daños físicos (p. ej., corte, enterramiento de la capa superficial del suelo, pisoteo), contaminación química (p. ej., fertilización excesiva, derrame de pesticidas) o contaminación biológica (p. ej., introducción de especies invasoras, incluidos patógenos indeseables).

2.2 **Involucrar a los participantes adecuados.** Los tratamientos son interpretados y ejecutados de manera responsable, efectiva y eficientemente por, o bajo la supervisión de, personas debidamente calificadas, especializadas y experimentadas. Siempre que sea posible, se invita a las partes interesadas y los miembros de la comunidad a participar en la implementación del proyecto. Siempre que sea posible, se incorpora a los proyectos de restauración el uso de materiales y procesos sostenibles.

2.3 **Incorporar procesos naturales.** Todos los tratamientos se llevan a cabo de una manera que sea sensible a los procesos naturales y que fomente y proteja el potencial de recuperación natural y asistida. Los tratamientos primarios, incluyendo enmiendas del sustrato e hidrológicas, control de plagas animales y vegetales, aplicación de actividades específicas de recuperación y reintroducciones bióticas,

son seguidos adecuadamente por tratamientos secundarios según sea necesario. Debido a que el periodo de recuperación puede ser largo (p. ej., crecimiento de vegetación ribereña), se deben planear e implementar tratamientos provisionales para reducir los efectos adversos (p. ej., afluencia de nutrientes y sedimentos hacia las corrientes de agua). Se proporciona un cuidado posterior adecuado a cualquier plantación o grupo animal.

2.4 **Responder a los cambios que ocurren en el sitio.** El manejo adaptativo se aplica con base en los resultados del monitoreo. Esto incluye tanto cambios correctivos de dirección para adaptarse a respuestas inesperadas del ecosistema, como trabajo adicional según sea necesario. En algunos casos, es posible que se necesiten investigaciones complementarias o nuevas para superar impedimentos particulares para la restauración.

2.5 **Asegurar el cumplimiento.** Todos los proyectos ejercen un cumplimiento total con la legislación en materia laboral, de salud y de seguridad. Se cumplen todas las leyes, regulaciones y permisos que se apliquen al proyecto, incluidas aquellas relacionadas con el suelo, el aire, el agua, los océanos, el patrimonio, la conservación de especies y ecosistemas.

2.6 **Comunicarse con las partes interesadas.** Todos los responsables del proyecto se comunican de forma regular con las partes interesadas clave (preferentemente mediante un plan de comunicaciones, integrado con cualquier compromiso de las partes interesadas y actividades de ciencia ciudadana), para mantener a las partes interesadas informadas de los progresos y comprometidas de manera óptima. La comunicación también debe cumplir con los requisitos de los organismos de financiación.



3. MONITOREO, DOCUMENTACIÓN, EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

Los proyectos de restauración ecológica adoptan los principios de observar, registrar y monitorear los tratamientos y las respuestas para determinar si un proyecto está en camino de cumplir con los objetos, objetivos y metas, o si necesita ajustes. Los proyectos se evalúan regularmente, con el progreso analizado para ajustar los tratamientos conforme se requiera (es decir, utilizando un marco de manejo adaptativo). Se fomentan las colaboraciones entre inves-

tigadores, expertos en conocimiento local, practicantes y científicos-ciudadanos, especialmente cuando los tratamientos son innovadores o se aplican a gran escala. Las necesidades de monitoreo se reevalúan a lo largo del proyecto y los recursos se reasignan o amplían en consecuencia.

3.1 **Diseño del monitoreo.** El monitoreo para evaluar los resultados de la restauración comienza en la fase de planeación, al desarrollar un plan de monitoreo que identifique la efectividad de los tratamientos (Véase también Recuadros 5 y 6). Este plan incluye preguntas específicas a ser abordadas a través del monitoreo, el diseño de muestreo para elaborar la línea base, la implementación, y los datos posteriores a los tratamientos, procedimientos para documentar y archivar los datos recopilados, planes para el análisis de datos y planes para comunicar los resultados para adaptar las estrategias de manejo en el sitio e informar a las partes interesadas de las lecciones aprendidas.

3.1.1 El monitoreo está dirigido a objetos específicos y objetivos y metas medibles identificados al inicio del proyecto. Una vez definidos los indicadores, se recopilan los datos de línea base y se determinan los hitos (o logros necesarios) para evaluar si la tasa de avance va bien encaminada. Adicionalmente, puede ser útil contar con "puntos detonantes" a lo largo de la ruta; si los datos alcanzan un punto detonante, entonces pueden necesitarse acciones correctivas.

3.1.2 Los métodos de monitoreo deben ser apropiados para los objetivos del proyecto. Siempre que sea posible, los métodos deben ser fáciles de usar e implementarse a través de procesos participativos. Cuando se necesite un muestreo cuantitativo formal, el diseño debe incluir un tamaño de muestra suficiente para permitir análisis estadísticos e inferencias. En todos los casos los métodos deben ser suficientemente detallados para ser reproducibles en años futuros.

3.1.3 Los encargados del proyecto deben ser conscientes de que el monitoreo es esencial para establecer si se cumplen los objetivos y también para brindar oportunidades de aprendizaje. Involucrar a las partes interesadas en el diseño del proyecto, en la recolección de datos y en el análisis, ayuda a mejorar la toma de decisiones colaborativa, brinda un sentido de pertenencia y compromiso, motiva a las partes interesadas a mantener el interés a largo plazo y fortalece la capacidad y el empoderamiento de las partes involucradas. Cualquier sistema de monitoreo

debe incluir oportunidades de aprendizaje y adaptación.

3.2 **Mantener registros.** Se mantienen todos los registros del proyecto de forma adecuada y segura, incluyendo los documentos relacionados con la planificación, la implementación, el monitoreo y la presentación de informes, para respaldar el manejo adaptativo y permitir la evaluación futura de las respuestas a los tratamientos. Todos los datos de los tratamientos, incluyendo detalles de las actividades de restauración, el número de sesiones de trabajo y los costos, junto con todos los registros de evaluación del monitoreo, se mantienen como referencias a futuro. Los datos de procedencia deben incluir la localidad (preferiblemente derivados de un GPS) y la descripción del sitio donante y los sitios o poblaciones receptoras. La documentación debe incluir referencias a los protocolos de recolección, fecha de adquisición, procedimientos de identificación y el nombre del colector o propagador. Adicionalmente:

- 3.2.1 Se debe considerar que los datos ofrecidos deben ser de acceso abierto, o añadir resultados a repositorios de acceso abierto como el Centro de Recursos de Restauración de la SER u otras bases de datos de centros nacionales o internacionales; y,
- 3.2.2 Los encargados deben archivar los datos utilizando un almacenamiento seguro. Deben incluirse los Metadatos que describan el contenido de cada conjunto de datos

3.3 **Evaluación de los resultados.** La evaluación de los resultados del trabajo se realiza con el progreso medido con relación a los objetos, objetivos y metas. Esto requiere del uso de una herramienta de evaluación (p.ej. el Sistema de las Cinco Estrellas presentado en este documento; la herramienta de Auditoría de los Estándares Abiertos para la Práctica de la Conservación, entre otros, o métodos ecológicos de evaluación convencionales).

- 3.3.1 La evaluación debe considerar adecuadamente los resultados del monitoreo; y
- 3.3.2 Los resultados deben utilizarse para sustentar el manejo en curso.

3.4 **Informar a las partes interesadas.** Los informes implican preparar y difundir reportes de avances que detallan los resultados de la evaluación para las partes interesadas clave y grupos de interés más amplios (p. ej., en boletines y revistas científicas) para transmitir productos y resultados a medida, conforme estén disponibles.

- 3.4.1 Los informes deben transmitir la información de forma precisa y accesible, personalizada para la audiencia; y,
- 3.4.2 Los informes deben especificar el nivel y detalles del monitoreo en que se basa cualquier evaluación de progreso.

4. MANTENIMIENTO POSTERIOR A LA IMPLEMENTACIÓN

4.1 Gestión continua. El órgano de gestión o manejo es responsable del mantenimiento continuo para prevenir impactos nocivos y realizar el monitoreo posterior a la finalización del proyecto, para evitar el retroceso a un estado degradado. Este requisito debe considerarse en los presupuestos antes de la restauración. La comparación con un modelo de referencia apropiado debe ser continua e incluye:

- Vigilancia periódica del sitio para verificar que no vuelva a ocurrir la degradación para proteger la inversión hecha en la restauración, idealmente involucrando a las partes interesadas;
- Protocolos de acción integrados en las operaciones de la organización gestora, trabajando en colaboración con las partes interesadas según sea necesario; y,
- La comunicación continua sobre el proyecto a las nuevas generaciones, para asegurar que el proyecto de restauración y las inversiones pasadas sean valoradas, por ejemplo,
    - continuando con actividades culturales que mantengan la historia del proyecto y celebren sus logros; y
    - reforzando las lecciones aprendidas, incluida la necesidad de realizar proyectos similares en otros lugares.

PARTE 1.
DESARROLLO DE MODELOS DE REFERENCIA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La práctica de la restauración ecológica implica eliminar o limitar las fuentes de degradación y ayudar al ecosistema en recuperación, hasta donde sea posible, a regresar a la condición en la que estaría si no hubiera ocurrido la degradación, al tiempo que considera los cambios anticipados. Esto requiere de un modelo para predecir dicha condición, denominado modelo de referencia (Principio 3), que se construye empíricamente a partir de múltiples sitios de referencia y teóricamente con base en la mejor información disponible. Este modelo debe tomar en cuenta los múltiples atributos de los ecosistemas y su variación en el ecosistema objeto, así como las complejidades y dinámicas generales del ecosistema (es decir, los cambios a través del tiempo). Cada una de estas consideraciones son importantes para establecer objetivos del proyecto que reflejen con exactitud un ecosistema objeto adecuado. En algunos casos, puede ser necesario identificar múltiples modelos de referencia, por ejemplo, para ecosistemas nativos que tienen una dinámica fuera de equilibrio (Suding y Gross 2006) o modelos de referencia alternativos donde han ocurrido o se han previsto cambios irreversibles. En la práctica, el proceso de construcción de un modelo de referencia y la confiabilidad de éste variarán de acuerdo con los recursos del proyecto y la disponibilidad de información ecológica relevante. La información puede estar fácilmente disponible o recopilable para algunos ecosistemas nativos (p. ej., áreas boscosas del occidente de Norteamérica donde los datos LiDAR permiten la creación de modelos de referencia a escalas de paisaje; Wiggins et al. 2019), mientras que para otros, los sitios y los datos de referencia pueden ser escasos (p. ej., ecosistemas amenazados de bosques costeros de Chile, de los cuales solo quedan unos cuantos fragmentos pequeños de bosque; Echeverría et al. 2006). En la mayoría de los casos, las partes interesadas y los encargados del proyecto tendrán que sortear los vacíos en la información y/o recursos disponibles usando un criterio profesional. En todos los casos, la mejor información disponible debe combinarse con un trabajo de investigación sólido (Swetnam et al. 1999) para desarrollar modelos óptimos que predigan la condición del sistema si no hubiera ocurrido la degradación.

La construcción de modelos de referencia idealmente incorpora un conjunto amplio de atributos del ecosistema, incluida la ausencia de amenazas, la composición de especies, la estructura de la comunidad, las condiciones físicas, las funciones ecosistémicas y los intercambios externos (Principio 3). Algunos de estos atributos, como la estructura de la comunidad (es decir, la arquitectura con respecto a los estratos vegetales, los niveles tróficos y los patrones espaciales) y la composición de especies (es decir, los tipos de especies presentes) son relativamente sencillos de evaluar, mientras que otros, como las funciones ecosistémicas, son más complejos, pero igualmente importantes. Los organismos interactúan con su ambiente y con otros organismos en formas complejas que dan como resultado flujos de energía, nutrientes, agua y otros materiales, denominados funciones ecosistémicas. Además de mantener la integridad ecológica, las funciones ecosistémicas proporcionan los servicios

necesarios para la vida (p. ej., alimentos, fibra, agua, medicamentos) y su inclusión en los modelos de referencia es fundamental. Aún más, al desarrollar referencias, es importante considerar los atributos físicos de los ecosistemas y los subsidios ecológicos (p. ej., propágulos) que fluyen a través de los ecosistemas, ya que son el contexto en el que ocurren las interacciones entre las especies.

Además de incorporar componentes individuales de los ecosistemas, los modelos de referencia deben reflejar la complejidad del ecosistema y las relaciones entre sus componentes (Green y Sadedin 2005). Los ecosistemas están constituidos por componentes vivos (bióticos) y no vivos (abióticos) que interactúan de formas complejas. Por ejemplo, las plantas y los suelos están estrechamente relacionados a través de un sistema de bioregulación (Perry 1994). Las plantas afectan directamente las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Por consiguiente, los tipos de plantas que crecen en un ecosistema afectan a todos los aspectos de los suelos del sistema. De manera similar, las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos afectan a los tipos de plantas que crecen en un área. Estas relaciones y la bioregulación no son exclusivas de los ecosistemas terrestres. En los ecosistemas acuáticos, la productividad primaria (en la cual se fija la energía mediante la fotosíntesis) está estrechamente relacionada con la productividad en niveles tróficos superiores y dirige la estructura general de la red trófica (Vander Zanden et al. 2006). Aunque la consideración explícita de todo el conjunto de componentes e interacciones en un ecosistema es imposible, el modelo de referencia debe ser desarrollado con la aspiración de incluir tantos componentes e interacciones como sea posible y, como mínimo debe incluir indicadores para cada uno de los atributos clave del ecosistema identificados en el Principio 3. Los proyectos que hacen énfasis en un número limitado de factores, como los enfocados en solo un tipo de servicios ecosistémicos, pueden tener un potencial limitado para restaurar la complejidad general del ecosistema. Por otra parte, los proyectos que incorporan muchos factores en sus modelos de referencia y objetivos pueden tener una mayor probabilidad de restaurar ecosistemas que finalmente protejan la biodiversidad, brinden resiliencia ecológica y proporcionen tasas más altas de servicios ecosistémicos a largo plazo.

INCORPORANDO LOS CAMBIOS HISTÓRICOS Y FUTUROS

Los ecosistemas responden a los cambios en las condiciones ambientales, lo que agrega complejidad a la restauración ecológica y a otros tipos de gestión de los ecosistemas. Para tomar en cuenta el cambio temporal, el modelo de referencia se concibe como la condición en la que estaría el ecosistema objeto si no se hubiera producido la degradación, a la vez que anticipa cambios futuros. No representa una condición del pasado. La información histórica puede ser útil en la elaboración de modelos de referencia, especialmente si no se dispone de sitios de referencia actuales. Sin embargo, cuando se utilizan datos históricos para desarrollar modelos de referencia, siempre debe considerarse el grado de cambio ambiental de fondo que ha ocurrido (p. ej., cambios en la temperatura, precipitación y suelos) o que se prevé que ocurra (p. ej., cambio climático), y la magnitud en la que el modelo de referencia debería ajustarse para incorporar estos cambios (véanse también el Recuadro 2 y el Anexo 1).

El cambio ecosistémico es impulsado por factores externos al ecosistema como el clima, pero también por procesos sucesionales y muchos tipos de ecosistemas muestran múltiples etapas sucesionales. Por ello, se debe considerar la etapa sucesional del sitio de restauración al seleccionar los sitios de referencia. Por ejemplo, es probable que los ecosistemas de sucesión tardía (p. ej., bosques de 1000 años de antigüedad) sean sitios de referencia inadecuados para las fases iniciales de la restauración de

bosques de sucesión temprana, aunque pueden ser útiles para sustentar un modelo de referencia multifase a largo plazo y establecer objetivos a largo plazo del proyecto. Además, para algunos sitios puede haber múltiples resultados potenciales de la sucesión, con base en eventos aleatorios como disturbios naturales o el orden de llegada de las especies (Chase 2003). En lugar de asumir que el sistema siempre seguirá una única trayectoria sucesional, puede ser útil desarrollar un conjunto de modelos de referencia para múltiples trayectorias potenciales. El incorporar con claridad las dinámicas de equilibrio en los modelos de referencia obviamente hace que la planeación de la restauración sea más compleja, pero facilitará el éxito del proyecto al brindar a los encargados una perspectiva mejor informada sobre los resultados adecuados del proyecto o, cuando se desee alcanzar uno de los múltiples estados estables potenciales, puede ayudarlos a evitar ciclos de retroalimentación que llevarían al sistema en direcciones no deseadas (p. ej., manejando el orden de introducción de especies o removiendo especies que probablemente empujarían al sistema en una dirección no deseada; Suding y Gross 2006).

SITIOS DE REFERENCIA Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Debido a que no hay dos sitios idénticos, la mejor práctica consiste en utilizar varios sitios de referencia y otra información para desarrollar el modelo de referencia. El inventario de un sitio capturará solo una fracción del lote regional de especies y es poco probable que represente la condición promedio del ecosistema objeto. Los ecosistemas que son muy heterogéneos requerirán más sitios de referencia que los que son más homogéneos. Sin embargo, debido al alto grado de alteración de las tierras a nivel mundial, es posible que muchos ecosistemas no tengan un número adecuado de sitios de referencia y los profesionales pueden tener que depender de modelos sucesionales y otras fuentes de información, como se detalla a continuación.

Además de la información de los sitios de referencia, la información de la evaluación de la línea base del sitio y las fuentes de evidencia indirectas secundarias pueden ayudar a determinar las condiciones de referencia (Clewell y Aronson 2013; Liu y Clewell 2017). Estas fuentes secundarias, aunque imperfectas, pueden ayudar efectivamente a guiar la planificación de la restauración (Egan y Howell 2001). Por ejemplo, la información histórica obtenida de archivos naturales y registros culturales puede proporcionar información valiosa. Un archivo natural importante, por ejemplo, reside en los anillos de crecimiento anual de árboles viejos, que pueden mostrar incidencias pasadas de sequías e incendios. Las semillas antiguas y otros fragmentos de plantas almacenados por roedores en cuevas generalmente se pueden identificar a nivel de especie. El banco de semillas, así como los depósitos de polen en el suelo y los sedimentos, se pueden utilizar para identificar a las especies de plantas que se presentaron en un sitio. Los troncos, los grandes restos leñosos y el carbón vegetal enterrados en suelo húmedo o sedimentos pueden excavarse, identificarse por especie y revelar condiciones de bosques maduros que desaparecieron hace mucho tiempo. Los registros culturales que incluyen fotografías (aéreas y fotos repetidas), pinturas de paisajes, mapas, diarios y libros, y censos de la tierra son posibles fuentes de información sobre las condiciones históricas de la vegetación. Las descripciones de especies más antiguas en estudios florísticos locales generalmente incluyen información sobre el hábitat. Las etiquetas de los especímenes en herbarios y museos identifican especies recolectadas en sitios específicos hace muchos años y a veces enumeran otras especies que se presentan con ellas. Sin embargo, se debe tener cuidado al utilizar cualquiera de estas fuentes de información histórica, porque las condiciones históricas pueden ser predictores inadecuados de las modernas. Además, los archivos naturales y los documentos culturales tienen sus propios sesgos y limitaciones que afectan las inferencias. Por último, existen

pocos ecosistemas cuyas condiciones históricas se conocen plenamente. Incluso en lugares donde hay datos disponibles, la información se limita a uno o unos pocos componentes y procesos del ecosistema.

Otras fuentes de información clave para desarrollar modelos de referencia incluyen el conocimiento ecológico tradicional y local (CET y CEL; p. ej., Zedler y Stevens 2018), y bases de datos y herramientas que caracterizan a las propiedades del ecosistema (p. ej., descripciones de suelos, distribuciones de especies raras). Si solo se pueden identificar unas pocas especies a partir de estas fuentes indirectas de evidencia, un ecólogo familiarizado con la historia natural de la región con frecuencia puede determinar la condición estimada de los ecosistemas si no se hubiera producido degradación y deducir la composición de las especies. Los planes de implementación se pueden preparar a partir de descripciones de ejemplos existentes de esos mismos ecosistemas.

La inversión adecuada en desarrollar un modelo de referencia es una consideración importante en la planificación y elaboración del presupuesto de los proyectos. La calidad del modelo de referencia variará entre proyectos, según los recursos de cada uno y los sitios e información disponibles. Las partes interesadas y los encargados de proyecto deben aspirar a crear el mejor modelo posible dadas las limitaciones del proyecto. Hay que tener en cuenta que en algunas jurisdicciones es posible que ya se hayan desarrollado modelos de referencia para algunos ecosistemas.

PARTE 2.
IDENTIFICACIÓN DE ENFOQUES APROPIADOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Durante millones de años, los procesos de recuperación natural han reparado de forma autógena sitios perturbados naturalmente tanto en ambientes terrestres como acuáticos (volcanes, deslizamientos de tierra, glaciaciones, impactos de asteroides, cambios en el nivel del mar, tsunamis, erosión de riberas; p. ej., Matthews 1999). Si bien los patrones secuenciales de recuperación (es decir, la sucesión) difieren entre ecosistemas, es probable que todas las especies nativas hayan desarrollado alguna capacidad de recuperación después de las perturbaciones o tensiones naturales a las que se han adaptado (Holling 1973; Westman 1978). Al comprender cómo operan los procesos de recuperación en casos de perturbaciones naturales se pueden desarrollar estrategias para la restauración de la degradación causada por el hombre (Cairns et al. 1977; Chazdon 2014). La evaluación correcta de la capacidad de las especies individuales para regenerarse en un sitio específico facilita la selección de enfoques y tratamientos adecuados, permitiendo así un uso eficiente de los recursos financieros y otros insumos de restauración (McDonald 2000; Martínez-Ramos et al. 2016).

Un primer paso para definir estrategias de restauración efectivas es identificar las limitaciones (a veces denominadas "filtros" o "barreras") que impiden la recuperación del ecosistema (Hobbs y Norton 2004; Hulvey y Aigner 2014). Las restricciones incluirán, por supuesto, las causas antropogénicas de la degradación, pero también las consecuencias de éstas, como sustratos inadecuados, ausencia de nichos, nichos alterados, falta de recursos, herbivoría, competencia, falta de disponibilidad de propágulos o ausencia de señales para romper la latencia de las semillas. Al abordar las limitaciones que impiden la recuperación sin introducir otras nuevas, los procesos naturales que han operado durante el tiempo evolutivo se pueden reestablecer

para ayudar a la recuperación del sitio perturbado (p. ej., revegetación a partir de propágulos almacenados; McDonald 2000; Prach y Hobbs 2008).

La regeneración natural, a veces denominada restauración "pasiva", es a menudo el enfoque más rentable cuando el potencial de recuperación natural es alto. Sin embargo, cuando el potencial de regeneración natural está ausente o es bajo, generalmente es necesario restablecer o aumentar los organismos o las poblaciones agotadas a través de medios más activos, como la **regeneración asistida** o la **reconstrucción**, a veces denominada restauración "activa". Los tres **enfoques** usan procesos de recuperación natural y requieren un manejo adaptativo continuo hasta que se alcance la recuperación.

1. Regeneración natural (o espontánea). Cuando el daño es relativamente bajo y se retiene la capa superficial del suelo, o donde existen marcos de tiempo suficientes y poblaciones cercanas para permitir la recolonización, las plantas y los animales pueden recuperarse después del cese de ciertos tipos de degradación (Prach et al. 2014; Chazdon y Guariguata 2016). Esto puede incluir la eliminación de la contaminación, el pastoreo inadecuado, la pesca excesiva, la restricción de los flujos de agua y los regímenes de incendios inadecuados. Las especies animales pueden ser capaces de recolonizar el sitio si hay suficiente conectividad de hábitat y las especies de plantas pueden recuperarse mediante el rebrote o la germinación de los bancos remanentes de semillas del suelo o de semillas que se dispersan naturalmente de los sitios cercanos (Grubb y Hopkins 1986; Powers et al. 2009). En algunos casos, la regeneración natural también se puede usar incluso en sitios muy perturbados, como canteras y minas abandonadas, aunque esto probablemente será un proceso a largo plazo (Prach y Hobbs 2008).

2. Regeneración asistida. La restauración en sitios de degradación intermedia o alta requiere de la eliminación de las causas de degradación y de intervenciones activas para corregir el daño abiótico y biótico y desencadenar la recuperación biótica (p. ej., imitando perturbaciones naturales o proporcionando recursos clave). Ejemplos de intervenciones abióticas incluyen: remediar activamente las condiciones químicas o físicas del sustrato; la construcción de características de hábitat como arrecifes de mariscos (O'Beirn et al. 2000); remodelar los cursos de agua (Jordan y Arrington 2014) y las topoformas (Prach y Hobbs 2008); restablecer los caudales ambientales y los pasos de peces en estuarios y ríos (Kareiva et al. 2000); aplicar perturbaciones artificiales para romper la latencia de las semillas (Mitchell et al. 2008); e instalar elementos característicos del hábitat como troncos huecos, rocas, pilas de restos leñosos, micronichos del suelo y árboles percha (Elgar et al. 2014; Castillo-Escrivà et al. 2019). Los ejemplos de intervenciones bióticas incluyen: el control de especies invasoras (Saunders y Norton 2001; Chazdon et al. 2017); la **reintroducción** suplementaria de especies que no pueden migrar al área de restauración sin ayuda (p. ej., la **renaturalización** de animales o la reintroducción de especies de árboles con semillas muy grandes); y el **aumento o refuerzo** de poblaciones agotadas de especies cuando la diversidad genética es insuficiente (ver también Anexo 1).

3. Reconstrucción. Cuando el daño es alto, no solo es necesario eliminar o revertir todas las causas de degradación y corregir todos los daños bióticos y abióticos para adaptarlos al ecosistema de referencia nativo identificado, sino que también es necesario reintroducir la totalidad o una parte importante de la biota deseable siempre que sea posible (Bradshaw 1983; Seddon et al. 2004). La biota puede entonces interactuar con los componentes abióticos para impulsar una mayor recuperación de los atributos del ecosistema. En algunos casos en los que la recuperación secuencial es una característica del ecosistema o es necesaria (p. ej., para ayudar a la recuperación de los suelos), es posible que las especies de sucesión más temprana deban reintroducirse

antes que las especies de sucesión tardía (Temperton et al.2004). Sin embargo, en ecosistemas que no exhiben estos patrones sucesionales, puede ser necesario introducir todas las especies desde el principio (p.ej. Rokich 2016).

Se puede justificar y mapear un **mosaico de los tres enfoques** cuando hay diferentes grados de degradación a través de un sitio, o como una técnica para aumentar la eficiencia y reducir los costos (Bradshaw 1983; Walker 2011), especialmente a escalas más grandes. Es decir, algunas partes de un sitio pueden requerir un enfoque de regeneración natural, otras pueden requerir un enfoque de regeneración asistida y otras áreas pueden requerir un enfoque de reconstrucción o sus combinaciones, según corresponda. Un enfoque combinado es la **nucleación aplicada**, que implica plantar pequeños parches de vegetación (a menudo árboles) que atraen a los dispersores y facilitan el establecimiento de nuevos reclutas, expandiendo el área boscosa con el tiempo. La nucleación aplicada se ha mostrado prometedora en la restauración de vertederos (Corbin et al. 2016), bosques mediterráneos (Rey Benayas et al. 2008), bosques tropicales (Corbin y Holl 2012; Holl et al. 2017) y otros ecosistemas. La decisión sobre usar un enfoque o una combinación de enfoques apropiados puede no ser autoevidente. El conocimiento y la experiencia son importantes para evaluar el grado del potencial de regeneración natural presente y si ese potencial puede responder a formas particulares de ayuda (y de forma oportuna). Cuando no se dispone de conocimiento específico, es adecuado usar un enfoque de manejo adaptativo para comprender la eficacia de los diferentes tipos de regeneración (p. ej., permitir un par de años para evaluar la tasa de regeneración natural antes de decidir el mejor enfoque; Holl et al. 2018). Responder a las condiciones del sitio de esta manera asegurará niveles óptimos de similitud entre el resultado de la restauración y las condiciones definidas por el modelo de referencia.

PARTE 3.
EL PAPEL DE LA RESTAURACIÓN EN LAS INICIATIVAS GLOBALES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

En los últimos 30 años, la restauración ecológica ha pasado de la implementación a pequeña escala a una estrategia primaria para conservar la biodiversidad y mejorar el bienestar humano a lo largo de grandes paisajes. Cuando la visión de la restauración excede la escala de parches pequeños, los objetivos y enfoques de la restauración deben ampliarse (Principio 7). Los patrones del paisaje (las relaciones espaciales de los tipos de ecosistemas) y los procesos a nivel del paisaje (p. ej., flujo de agua, erosión, flujos de nutrientes, cambios en el uso del suelo) son atributos importantes a considerar (Holl et al. 2003). A grandes escalas, la mayor diversidad de ecosistemas, partes interesadas y usos de la tierra crea objetivos que compiten entre sí, pero también puede impulsar soluciones comunes. En consecuencia, la restauración a esta escala debe centrarse en proporcionar beneficios múltiples, complementarios e integrados para los ecosistemas y las partes interesadas.

INICIATIVAS GLOBALES DE RESTAURACIÓN

La creciente conciencia de la necesidad de la reparación ambiental y sociocultural ha llevado a un aumento global de la restauración ecológica y las actividades aliadas de recuperación (Introducción, Principio 7). Sin embargo, la degradación de tierras ha continuado prácticamente sin disminución y la necesidad de evitar y contrarrestar los efectos de esta degradación es cada vez más urgente. Con este fin, se han lanzado varias iniciativas y acuerdos de restauración a gran escala que promueven una amplia gama de soluciones de **gestión de los ecosistemas** y **soluciones basadas en la naturaleza** (SBN) (Recuadro 10). En muchas de estas iniciativas y acuerdos, la restauración se define de manera amplia (p. ej., Restauración del Paisaje

Recuadro 10

INICIATIVAS DE RESTAURACIÓN GLOBAL

- Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU) llaman a la restauración de los ecosistemas marinos y costeros para 2030 (Objetivo 14), así como la de bosques y otros ecosistemas que han sido degradados (Objetivo 15). El 10 de marzo de 2019, en apoyo a una amplia variedad de ODS y muchas de las iniciativas que se mencionan más abajo, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró a 2021-2030 la Década de la Restauración de Ecosistemas. Se espera que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Foro Global sobre Paisajes (GLF) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), entre otros, lideren la implementación y los programas de intercambio de conocimientos de la Década de la Restauración de Ecosistemas.
- El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) tiene la meta de restaurar 15% de los ecosistemas degradados para 2020, para mitigar los impactos del cambio climático y combatir la desertificación (Meta 15 de Aichi para la Diversidad Biológica) y considera que la restauración ecológica es clave para brindar servicios ecosistémicos esenciales (Meta 14 de Aichi para la Diversidad Biológica). El CBD ha adoptado un Plan de Acción a Corto Plazo sobre Restauración de Ecosistemas (CBD 2016), y se espera que la restauración juegue un papel aún más grande a medida que venzan las metas de biodiversidad actual y se revisen en el marco post-2020. El CBD (2018) también incentiva a las Partes a fortalecer aún más sus esfuerzos "… para identificar regiones, ecosistemas y componentes de la biodiversidad que son o serán vulnerables al cambio climático… para promover la restauración de ecosistemas y la gestión sostenible post-restauración."
- La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) promueve la restauración y rehabilitación de tierras como parte del marco estratégico de la CNULD 2018-2030 y específicamente para lograr la Neutralidad de la Degradación de las Tierras (LDN por sus siglas en inglés; Orr et al. 2017), en la cual "la cantidad y la calidad de los recursos de la tierra necesarios para mantener las funciones y servicios de los ecosistemas y el mantenimiento de la seguridad alimentaria permanecen estables o aumentan en escalas espacio-temporales y ecosistemas específicos" (UNCCD 2017). Las tierras secas actuales y futuras serán altamente vulnerables bajo el cambio climático, lo que requiere una colaboración más fuerte entre las tres Convenciones de Río (CDB, CNULD y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC]) sobre cómo evitar, reducir y revertir la degradación de la tierra con el apoyo de prácticas de gestión sostenible de la tierra, teniendo en cuenta los mandatos especiales de cada Convención (Akhtar-Schuster et al. 2017; Chasek et al. 2019).
- La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES por sus siglas en inglés [IPBES 2018]) promueve la "restauración de la tierra", incluyendo actividades como la restauración de la productividad agrícola, la adopción

de mejores prácticas agrícolas y otras actividades de uso sostenible. La Evaluación Global sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos del IPBES (2019 [https://www.ipbes. net/global-assessment-biodiversity-ecosystem-services]) reporta que actualmente cerca de un millón de especies de fauna y flora están amenazadas de extinción, muchas dentro de décadas, más que nunca antes en la historia de la humanidad. Muestra que la pérdida de biodiversidad no solo es un problema ambiental, sino también un problema de desarrollo, económico, de seguridad, social y moral. Las acciones de restauración y de mitigación del cambio climático basadas en la tierra se consideran elementos clave del cambio transformador necesario para evitar extinciones masivas y la consiguiente pérdida de servicios ecosistémicos.

- La iniciativa más grande y diversa para la restauración a gran escala es el Desafío de Bonn, lanzado por el Gobierno de Alemania y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), y posteriormente respaldado y ampliado por la Declaración de Nueva York sobre los Bosques (Objetivo 5). Este esfuerzo global busca restaurar 150 millones de hectáreas de tierras deforestadas y degradadas para 2020 y 350 millones de hectáreas para 2030. El Desafío de Bonn ha impulsado compromisos nacionales y subnacionales de alto nivel de 58 gobiernos y administradores de la tierra, por un total de más de 170 millones de hectáreas, para evaluar oportunidades e implementar actividades recuperativas utilizando el enfoque de Restauración del Paisaje Forestal (RPF).
- En apoyo del Desafío de Bonn, varias iniciativas regionales ayudan a unir a los países para compartir compromisos, conocimientos, herramientas y capacidades con respecto a la RPF. En América Latina, esto incluye la iniciativa 20×20, que busca restaurar 20 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2020. De manera similar, la Iniciativa de Restauración del Paisaje Forestal Africano (AFR100) es un esfuerzo lidereado por los países para restaurar 100 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2030. Tanto 20×20 como AFR100 han superado sus objetivos compromiso. Los 17 países que apoyan el Desafío de Bonn a través de la iniciativa 20×20 han comprometido 50 millones de hectáreas y los 28 países que apoyan la AFR100 han comprometido 113 millones de hectáreas hasta la fecha. Además de estas iniciativas, están surgiendo plataformas regionales incipientes en el Cáucaso y Asia Central, Europa y el sudeste asiático, y muchos otros compromisos a gran escala con la RPF en el resto del mundo, tanto a escala nacional como subnacional.
- Se proponen o promueven actividades recuperativas adicionales como parte de los proyectos REDD+ (Reducción de las Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación de los Bosques) a nivel nacional y subnacional, como parte de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés) a la CMNUCC, por el Foro Global sobre Paisajes (GLF) y a través de miles de proyectos a escalas locales, regionales y nacionales en todo el mundo.

Forestal) e incluye todas las actividades a lo largo del continuo recuperativo (Principio 8). Estas iniciativas se enfocan en gran medida en mejorar la salud ecológica y la productividad de los paisajes para mantener el bienestar actual y futuro de las personas, proteger la biodiversidad, reducir los riesgos de desastres y mitigar y adaptarse al cambio climático. En algunas iniciativas, la restauración se considera un método para mejorar el acceso a y la sostenibilidad de los recursos naturales. Otros reconocen el potencial de la restauración para catalizar las economías rurales, generar empleos e ingresos y mejorar la seguridad alimentaria e hídrica, entre otras metas. Estos resultados no son necesariamente excluyentes entre sí. De hecho, cuando el acceso justo y el uso sostenible de los recursos naturales es el resultado de programas de restauración a gran escala, se alcanzan también varias otras metas globales.

ENFOQUES DE RESTAURACIÓN DEL PAISAJE

Muchas iniciativas de restauración a gran escala incluyen oportunidades para emplear enfoques de restauración del paisaje. La restauración del paisaje involucra prácticas basadas tanto en los principios de la ecología del paisaje como en la ciencia de la sostenibilidad del paisaje (CSP o LSS por sus siglas en inglés; Frazier et al. 2019), en las que un "paisaje" se ve como un sistema socioecológico. La CSP se enfoca en mejorar la relación dinámica entre los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano en condiciones sociales, económicas y ambientales cambiantes. De acuerdo con la definición de sostenibilidad del paisaje (Wu 2013), l**a restauración del paisaje** se puede definir como un proceso planificado que busca recuperar la integridad ecológica a nivel del paisaje y la capacidad de un paisaje para proporcionar servicios ecosistémicos específicos del paisaje esenciales para mejorar el bienestar humano a largo plazo. En consecuencia, la restauración del paisaje involucra objetos y objetivos tanto ecológicos como sociales (Principio 1). Los enfoques adicionales para la restauración a gran escala incluyen el concepto de **Paisajes Multifuncionales Sostenibles**, que son "paisajes creados y gestionados para integrar la producción humana y el uso del paisaje en el tejido ecológico de un paisaje que mantiene las funciones críticas del ecosistema, los flujos de servicios y la retención de la biodiversidad" (O'Farrell y Anderson 2010).

La conducción de actividades de restauración del paisaje requiere de una comprensión profunda de la composición, estructura y funcionamiento del paisaje y del vínculo entre la integridad ecológica y la satisfacción de las necesidades humanas (Wu 2013). Estos atributos del paisaje varían de aquéllos que se consideran para la restauración ecológica a nivel de sitio (composición, estructura, función, a nivel de ecosistema o comunidad, así como en niveles inferiores (especies, genes) de la jerarquía biológica; Principio 7). La restauración del paisaje implica consideraciones de los niveles de la jerarquía biológica por encima de la escala del ecosistema y una consideración explícita de los tipos y proporciones de ecosistemas en el paisaje, la organización espacial de las unidades y el vínculo entre la composición, la estructura y las funciones del paisaje. El restaurar las funciones, flujos de energía, nutrientes y otros subsidios a través del paisaje puede ser tan importante como restaurar la composición y estructura en algunos casos, especialmente para la obtención de servicios ecosistémicos particulares. Por ejemplo, restaurar los procesos hidrológicos y el movimiento del agua entre los ecosistemas es crucial para la regulación del flujo de las corrientes de agua, que es uno de los servicios de los ecosistemas que a menudo impulsa el interés en la restauración. La planificación y ejecución de proyectos de restauración a escala de paisaje requiere de la evaluación de la degradación ecológica y las necesidades de restauración a esta misma escala, incluidos la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas y las disyuntivas entre ellos.

Las actividades de restauración del paisaje deben concentrarse en lugares estratégicos, con beneficios ecológicos y sociales equilibrados (Doyle y Drew 2012), y que se distribuyen en cuencas hidrográficas enteras y más allá (UICN y WRI 2014; Liu et al. 2017).

Los gobiernos a menudo se involucran en programas de restauración del paisaje en coaliciones con administraciones locales y grupos de partes interesadas. Las plataformas de participación de las partes interesadas se crean por varias razones importantes, que incluyen desarrollar un sentido de responsabilidad por el paisaje y enfatizar cómo las diferentes partes interesadas ven el potencial de la restauración y sus costos y beneficios. Sin embargo, a menos que los procesos impulsados por las partes interesadas sean consistentes con los conceptos de la ciencia de la sostenibilidad del paisaje, es posible que no se consideren las disyuntivas clave entre los servicios deseados por las partes interesadas, la biodiversidad y la integridad ecológica y los paisajes puedan degradarse aún más. El manejo de las disyuntivas para maximizar la sostenibilidad del paisaje es crítico, ya que la eficiencia a largo plazo de los programas nacionales de restauración requiere de considerar las necesidades de las generaciones futuras y las opciones para mejorar la sostenibilidad futura bajo el cambio climático.

Las herramientas de apoyo a la toma de decisiones pueden ayudar a definir y mapear la degradación, establecer metas de restauración, discernir disyuntivas y sinergias entre acciones o enfoques de restauración potenciales e identificar oportunidades de restauración (UICN y WRI 2014; Hanson et al.2015; Chazdon y Guariguata 2018; Evans y Guariguata 2019). Más aún, la integración de la información sobre biodiversidad, el modelaje de la distribución de especies y de la calidad del hábitat a escalas de paisaje puede identificar áreas donde la restauración ecológica puede reducir amenazas a las especies o restaurar activamente sus poblaciones o hábitat (Beatty et al. 2018a). Más aun, los análisis económicos y los escenarios basados en el suministro de servicios ecosistémicos y los beneficios de la biodiversidad pueden contribuir a comprender la rentabilidad y los costos totales de acciones de restauración específicas en áreas particulares. Sin embargo, se necesitan con urgencia herramientas adicionales de apoyo a la toma de decisiones para evaluar la generación de los servicios ecosistémicos seleccionados, las disyuntivas entre los resultados ecológicos y sociales y los resultados socioeconómicos como los medios de vida y la seguridad alimentaria (Beatty et al. 2018b).

Una forma importante de promover la ciencia, la práctica y la política de la restauración del paisaje es desarrollar y promover la cooperación bilateral y multilateral entre y dentro de los países. Un análisis bibliométrico muestra un aumento significativo de las publicaciones sobre restauración ecológica en los países en desarrollo (p. ej., China y Brasil entre 1988 y 2017; Guan et al. 2019). El compartir la experiencia y la capacidad, la co-financiación y el co-desarrollo de nuevo conocimiento para una política y práctica más efectivas entre regiones debe impulsarse (Liu et al. 2019), y la **cooperación sur-sur** es igualmente importante para el intercambio de conocimientos en países en desarrollo y recientemente industrializados (Liu et al. 2017).

La **Restauración del Paisaje Forestal (RPF** o FLR por sus siglas en inglés), el enfoque principal tras el Desafío de Bonn y otras iniciativas de restauración global, ha aumentado la conciencia de la necesidad de la restauración y las actividades recuperativas aliadas a escala del paisaje. Sin embargo, las actividades implementadas bajo la denominación de Restauración del Paisaje Forestal no son necesariamente equivalentes a la restauración ecológica -una situación que ha contribuido a la confusión de la restauración como concepto. Aunque la RPF se define como "un proceso que busca recuperar el funcionamiento ecológico y mejorar el bienestar humano en paisajes deforestados o degradados"

(Besseau et al. 2018), la restauración ecológica es solo una de las muchas actividades de la RPF. De hecho, los programas de RPF comprenden una gama de actividades alineadas con el "Continuo Recuperativo" descrito en el Principio 8 (es decir, impactos reducidos, remediación, rehabilitación, restauración ecológica), incluyendo la conservación de áreas protegidas existentes y el aumento de la sostenibilidad en áreas de producción económica primaria. Es importante destacar que la RPF no otorga necesariamente un valor más alto a un tipo de actividad dentro del continuo que a otro. La restauración ecológica, por ejemplo, no se considera una opción intrínsecamente mejor que la agricultura de conservación o la agrosilvicultura. Sin embargo, muchos profesionales de la RPF ven a la restauración ecológica como un componente clave de cada proyecto de RPF. Estos profesionales reconocen que las áreas dedicadas principalmente a la producción económica, especialmente los paisajes agrícolas degradados, tienen enormes necesidades sociales, económicas y ecológicas de intervención. La aplicación de un enfoque integrado y holístico para conservar y reparar los ecosistemas tiene más probabilidades de lograr mejoras directas en el bienestar humano de manera efectiva y equitativa, un enfoque similar al del programa de Neutralidad en la Degradación del Paisaje de la CNULD (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación). La selección de actividades dentro de la RPF, sin embargo, se basa en muchos factores, incluido cómo la acción mitiga la degradación y también cómo puede apoyar las metas definidas por las partes interesadas (p.ej., resiliencia climática, seguridad alimentaria e hídrica, conservación de la biodiversidad). La RPF se ha interpretado de diferentes formas (Mansourian 2018), lo que lleva a diferentes construcciones de RPF (p. ej., salvaguardar la biodiversidad, reducir la degradación de la tierra, apoyar la producción sostenible de madera). La transparencia y la comunicación clara, junto con la flexibilidad para implementar una diversidad de actividades de restauración en un paisaje son, por lo tanto, claves para una implementación exitosa.

Existe un amplio apoyo político para la RPF y el Desafío de Bonn, que son importantes mecanismos de implementación de las Convenciones de Río (CDB, UNCCD, UNFCCC), así como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y muchas iniciativas nacionales, continentales y regionales. La RPF ha permitido que los países y otros actores vean a la reparación del ecosistema y del paisaje a través de los muchos lentes diferentes sociales, económicos y ecológicos que ofrece. La RPF ya ha realizado contribuciones significativas a las Metas de Aichi (Beatty et al. 2018c). Además, la participación de los responsables de la formulación de políticas de alto nivel en los eventos ministeriales del Desafío de Bonn ha tenido como resultado el apoyo a la Década de la Restauración de Ecosistemas de las Naciones Unidas (2021-2030). La preocupación de que la RPF sea recuperadora y no cree incentivos perversos y daños colaterales ha llevado al desarrollo de Principios para la RPF que hacen un llamado a la restauración de múltiples funciones juntas y el mantenimiento y mejora de los ecosistemas nativos (Cuadro 11).

Recuadro 11

PRINCIPIOS DE LA RPF

Los miembros de la Alianza Mundial para la Restauración del Paisaje Forestal (GPFLR por sus siglas en inglés) han re-articulado y fortalecido un conjunto simplificado de principios de RPF mantenidos por mucho tiempo, que se presentan a continuación (Besseau et al. 2018).

- Enfoque en los paisajes - la RPF tiene lugar dentro y a través de paisajes completos, no en sitios individuales, que representan mosaicos de usos de la tierra y prácticas de gestión que interactúan bajo varios sistemas de tenencia y gobernanza. Es a esta escala que se pueden equilibrar las prioridades ecológicas, sociales y económicas.
- Involucrar a las partes interesadas y apoyar la gobernanza participativa - la RPF involucra activamente a las partes interesadas a diferentes escalas, incluidos los grupos vulnerables, en la planificación y toma de decisiones con relación al uso de la tierra, los objetivos y estrategias de restauración, los métodos de implementación, la distribución de beneficios y los procesos de monitoreo y revisión.
- Restaurar múltiples funciones para obtener múltiples beneficios - las intervenciones de RPF buscan restaurar múltiples funciones ecológicas, sociales y económicas a través del paisaje y generar una variedad de bienes y servicios ecosistémicos que benefician a múltiples grupos de partes interesadas
- Mantener y mejorar los ecosistemas naturales dentro de los paisajes - la RPF no conduce a la conversión o destrucción de bosques naturales o de otros ecosistemas. Mejora la conservación, recuperación y gestión sostenible de los bosques y otros ecosistemas.
- Adaptarse al contexto local utilizando una variedad de enfoques - la RPF utiliza una variedad de enfoques que se adaptan a los valores y necesidades sociales, culturales, económicas y ecológicas locales y a la historia del paisaje. Se basa en la ciencia más reciente y las mejores prácticas y los conocimientos tradicionales e indígenas y aplica esa información en el contexto de las capacidades locales y las estructuras de gobernanza existentes o nuevas.
- Gestionar de forma adaptativa para la resiliencia a largo plazo - la RPF busca mejorar la resiliencia del paisaje y de sus partes interesadas a mediano y largo plazo. Los enfoques de restauración deben aumentar las especies y la diversidad genética y ajustarse con el tiempo para reflejar los cambios en el clima y otras condiciones ambientales, conocimientos, capacidades, necesidades de las partes interesadas y valores sociales. A medida que avanza la restauración, la información de las actividades de monitoreo, investigación y las orientaciones de las partes interesadas deben integrarse en los planes de manejo. holder guidance should be integrated into management plans.

CONCLUSIÓN

El mundo está entrando en una era de restauración ecológica, con gobiernos de todo el mundo asumiendo compromisos impresionantes para restaurar tierras y paisajes degradados a través de una amplia gama de actividades recuperativas, incluida la restauración ecológica tanto a escala de ecosistema como de paisaje. La restauración ecológica se reconoce cada vez más como una herramienta fundamental para mitigar y adaptarse a los efectos de los desastres ambientales y los impactos del cambio climático. Apoya un proceso que mejora el bienestar humano a nivel individual, comunitario y nacional. Cuando se implementa de manera efectiva, la restauración ecológica puede lograr beneficios profundos en los servicios de los ecosistemas, que van desde las necesidades más básicas, como mejorar la seguridad alimentaria e hídrica, hasta reducir la propagación de enfermedades y mejorar la salud física, emocional y mental de las personas. La restauración ecológica también debe integrarse con la conservación y la producción sostenible. La restauración puede ayudarnos a pasar, a nivel mundial, de siglos de daño ambiental acumulativo a la neutralidad en la degradación de la tierra (Recuadro 10) y eventualmente a una mejora ecológica neta. Por lo tanto, la restauración ecológica promete una ganancia neta en la extensión y el funcionamiento de los ecosistemas nativos, junto con la obtención de beneficios críticos para el bienestar humano. Lograr esto requiere del apoyo de las partes interesadas en todas partes y un compromiso global e inversión en todo tipo de actividades recuperativas. Esta inversión debe tener un fundamento científico sólido, defendible y comprensible, como se describe en estos principios y estándares de restauración.



5 SECCIÓN 5 - GLOSARIO DE TÉRMINOS

Este glosario es una adaptación y ampliación de McDonald et al. (2016a,b).

Abiótico: materiales y condiciones no vivos de un ecosistema dado, incluida la roca o el sustrato acuoso, la atmósfera, el tiempo y el clima, el relieve y aspecto topográfico, el régimen de nutrientes, el régimen hidrológico, el régimen de incendios y el régimen de salinidad.

Actividad: véase **actividades de restauración, actividades recuperativas.**

Actividades aliadas: prácticas recuperativas (incluido el mejoramiento ambiental, la remediación y la rehabilitación) que reducen las causas y los efectos continuos de la degradación y aumentan el potencial de recuperación del ecosistema.

Actividades de restauración: cualquier acción, intervención o tratamiento dirigido a promover la recuperación de un ecosistema o componente de un ecosistema, como enmiendas del suelo y el sustrato, control de especies invasoras, acondicionamiento del hábitat, reintroducción de especies y reforzamientos de las poblaciones.

Actividades recuperativas – actividades (incluida la restauración ecológica) que reducen la degradación o mejoran las condiciones para la recuperación parcial o total de los ecosistemas. A veces se describen como una "familia" de actividades de recuperación interrelacionadas.

Aforestación=Repoblamiento forestal – el proceso de introducir un bosque en un área donde antes no existía un bosque en el pasado histórico.

Amenaza: un factor que potencialmente o actualmente causa degradación, daño o destrucción.

Área o zona de procedencia local: un área de recolección de propágulos dentro de la cual se considera que la transferencia de propágulos probablemente conserva rasgos adaptados localmente.

Atributos: véase **Atributos clave del ecosistema.**

Aumento, Aumentar (poblaciones agotadas o reducidas): (también conocida como mejoramiento, enriquecimiento, reposición o repoblación) agregar semillas o individuos de una población a la misma población, con el objetivo de aumentar el tamaño poblacional o la diversidad genética y, por lo tanto, mejorar la viabilidad; recrear una población recientemente extirpada con individuos propagados de esa población. En la práctica común, las poblaciones a menudo se aumentan con material de otras poblaciones cercanas, no solo de la misma población (ver Refuerzo).

Autofecundación: autofertilización; autopolinización.

Autoorganización: un estado en el que todos los elementos necesarios están presentes y los atributos del ecosistema pueden continuar desarrollándose hacia el estado de referencia adecuado sin ayuda externa. La autoorganización se evidencia por patrones y procesos como el crecimiento, la reproducción, la relación entre productores, herbívoros y depredadores y la diferenciación de nichos, respecto

a las características del ecosistema de referencia. No se aplica fácilmente a la restauración de ecosistemas culturales tradicionales.

Barreras (a la recuperación): factores que impiden la recuperación de un atributo del ecosistema.

Bienestar: un estado de los seres humanos, dependiente del contexto y la situación, que comprende el acceso a materiales básicos para una buena vida, libertad y capacidad de elección, salud, buenas relaciones sociales y seguridad.

Biodiversidad: la variabilidad entre organismos vivos de todo tipo, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de los ecosistemas.

Capital natural: inventarios de recursos naturales que son renovables (ecosistemas, organismos), no renovables (petróleo, carbón, minerales, etc.), pueden reponerse (la atmósfera, el agua potable, los suelos fértiles), y cultivarse (variedades locales, cultivos patrimoniales y el conocimiento asociado a ellos), y de los que fluyen los servicios ecosistémicos.

Condición de línea base: la condición del sitio de restauración inmediatamente antes del inicio de las actividades de restauración ecológica.

Conocimiento ecológico tradicional (CET o TEK por sus siglas en inglés): conocimiento y prácticas aprendidas de la experiencia y observación, y transmitidas de generación en generación, sustentadas en una fuerte memoria cultural, sensibilidad al cambio y valores que incluyen la reciprocidad.

Continuo recuperativo: un espectro de actividades que, directa o indirectamente, apoyan o logran al menos cierta recuperación de los atributos del ecosistema que se han perdido o deteriorado. El continuo recuperativo incluye cuatro categorías principales de actividades recuperativas, cada una de las cuales incluye otras seis categorías de actividades, como se explica en el Principio 8.

Cooperación Sur-Sur: un marco amplio para la colaboración entre países del hemisferio sur en los ámbitos político, económico, social, cultural, ambiental y técnico. Involucra la participación de dos o más países en desarrollo y puede tener lugar de forma bilateral, regional, subregional o interregional.

Daño (al ecosistema): un impacto nocivo agudo y evidente en un ecosistema.

Degradación (de un ecosistema): un nivel de impacto humano deletéreo en los ecosistemas, que da como resultado la pérdida de biodiversidad y la simplificación o alteración de su composición, estructura y funcionamiento y que en general conduce a una reducción en el flujo de servicios ecosistémicos.

Depresión endogámica: la reducción de la adecuación biológica en una población determinada como resultado de la endogamia o reproducción de individuos emparentados.

Depresión exogámica: cuando la descendencia de cruzas entre individuos de poblaciones diferentes tiene menor adecuación que la descendencia de los cruces entre individuos de la misma población.

Descubrimiento científico: conocimiento obtenido de un enfoque lógico, estructurado, que se basa en la observación sistemática, la medición y la formulación, evaluación y modificación de ideas (hipótesis).

Destrucción (de un ecosistema): cuando la degradación o el daño elimina toda la vida macroscópica y, normalmente, daña el ambiente físico de un ecosistema.

Ecología de la restauración: rama de la ciencia ecológica que proporciona conceptos, modelos, metodologías y herramientas para la práctica de la restauración ecológica. También se beneficia de la observación directa y la participación en la práctica de la restauración.

Ecosistema: un ensamblaje de componentes bióticos y abióticos en cuerpos de agua o en tierra en el que los componentes interactúan para formar redes tróficas complejas, ciclos de nutrientes y flujos de energía. El término ecosistema se utiliza en los Estándares para describir un ensamblaje ecológico de cualquier tamaño o escala.

Ecosistema de referencia: una representación de un ecosistema nativo que es el objeto de la restauración ecológica (a diferencia de un sitio de referencia). Un ecosistema de referencia generalmente representa una versión no degradada del ecosistema completo con su flora, fauna y otra biota, componentes abióticos, funciones, procesos y etapas sucesionales que pudieran haber existido en el sitio de restauración si no se hubiera producido la degradación y ajustado para adaptarse a las condiciones ambientales cambiantes o anticipadas.

Ecosistema nativo: un ecosistema que incluye organismos que se sabe que han evolucionado localmente o que han emigrado recientemente de localidades vecinas debido a condiciones ambientales cambiantes, incluido el cambio climático. En determinadas circunstancias, los ecosistemas culturales tradicionales o ecosistemas seminaturales se consideran como ecosistemas nativos. La presencia de especies introducidas o la expansión de especies ruderales en ecosistemas nativos son formas de degradación.

Ecosistemas culturales tradicionales: ecosistemas que se han desarrollado bajo la influencia conjunta de procesos naturales y la organización impuesta por el ser humano para proporcionar una composición, estructura y funcionamiento más útiles para la explotación humana. Aquellos considerados ejemplos de ecosistemas nativos de alta calidad pueden funcionar como modelos de referencia para la restauración ecológica, mientras que otros, transformados principalmente para especies introducidas o degradados de otra manera, no funcionan como modelos de referencia para la restauración ecológica. Véase también **Ecosistema seminatural**.

Ecosistema seminatural: en el contexto legal de la Unión Europea (UE), son los ensamblajes ecológicos de biodiversidad creados por las actividades humanas (p. ej., praderas alpinas pastoreadas o cosechadas). Han evolucionado con actividades de pastoreo y agrícolas tradicionales, u otras actividades humanas que pueden tener siglos de antigüedad y depender del manejo tradicional para mantener su composición, estructura y funcionamiento característicos. Estos ecosistemas son muy valorados por su biodiversidad y servicios ecosistémicos y pueden ser una referencia para la restauración ecológica. Algunos ejemplos incluyen las praderas alpinas y de tierras bajas, brezales, pastizales calcáreos, montes bajos, praderas con árboles y pantanos de pastoreo. Difieren de los "ecosistemas culturales," como los define la UE, creados para proporcionar servicios ecosistémicos, pero que dan como resultado ecosistemas degradados con menores valores de biodiversidad. Entre los ejemplos se incluyen campos cultivables, pastizales agrícolas pobres en especies, áreas de extracción minera y paisajes urbanos con parques. Éstos no son adecuados como referencia para la restauración ecológica, pero pueden ser el punto de partida para la restauración ecológica o la rehabilitación. En este sentido, los ecosistemas seminaturales tienen aproximadamente el mismo significado que el **ecosistema cultural tradicional** de alta calidad en los Estándares.

Enfoque (para restauración): la categoría genérica del tratamiento (p. ej., regeneración natural o asistida, reconstrucción).

Enfoque de reconstrucción: un enfoque de restauración en el que la llegada de la biota adecuada depende total o casi completamente de la acción humana, ya que no pueden regenerarse o recolonizar el sitio en marcos temporales factibles, incluso después de intervenciones de regeneración asistida realizadas por expertos.

Enfoque de regeneración natural (o espontánea): restauración ecológica que se basa únicamente en el aumento de los individuos tras la eliminación de las causas de degradación, a diferencia de un enfoque de **regeneración asistida**.

Envoltura climática (o envolvente climático): el intervalo climático en que se distribuyen las poblaciones de una especie. Con el cambio climático, es probable que las localidades geográficas de dichas envolturas cambien.

Especies: se utiliza aquí como un término genérico para representar una especie o taxón infraespecífico, incluso si no ha sido descrito formalmente por la ciencia.

Especies deseables: especies del ecosistema de referencia (o a veces plantas nodriza no nativas) que permitirán que el ecosistema nativo se recupere. Lo contrario de las especies deseables son las especies indeseables, que a menudo, pero no exclusivamente, son especies no nativas.

Especies nativas: taxones que se considera que tienen su origen en una región determinada o que han llegado allí sin ser transportadas recientemente (directo o indirecto) por los seres humanos. Entre los ecólogos existe un debate sobre cómo definir con precisión este concepto.

Estrato (s): capa o capas de vegetación en un ecosistema; a menudo se refiere a capas verticales como árboles, arbustos y herbáceas.

Flujo génico: intercambio de material genético entre organismos individuales que mantiene la diversidad genética de la población de una especie. En la naturaleza, el flujo génico puede estar limitado por la falta de vectores de dispersión y por barreras topográficas como montañas y ríos. En paisajes fragmentados puede estar limitado por la separación de hábitats remanentes. El flujo génico entre poblaciones introducidas y nativas puede tener impactos negativos, como la depresión exogámica.

Flujos del paisaje: intercambios que se producen a un nivel mayor que los ecosistemas individuales o sitios individuales (incluso dentro de ambientes acuáticos), y que incluyen flujos de energía, agua, fuego y material genético. Los intercambios se ven facilitados por la conectividad del hábitat.

Funciones (de un ecosistema): el funcionamiento de un ecosistema que surge de las interacciones y relaciones entre los elementos bióticos y abióticos. Esto incluye procesos ecosistémicos como la producción primaria, la descomposición, el reciclaje de nutrientes y la transpiración, y propiedades como la competencia y la resiliencia.

Germoplasma: la variedad de materiales regenerativos de plantas y animales (p. ej., embriones, semillas y materiales vegetales) que proporcionan una fuente de material genético para poblaciones futuras.

Gestión (o manejo) de ecosistemas: un enfoque de manejo que se basa en la integración del conocimiento científico de las relaciones ecológicas en un marco sociopolítico y de valores complejo, hacia el objetivo general de proteger la integridad de los ecosistemas nativos a largo plazo.

Indicadores (de recuperación): características de un ecosistema que se pueden utilizar para medir el progreso hacia los objetivos y metas de restauración en un sitio determinado (p. ej, medidas de presencia/ausencia y calidad de los componentes bióticos o abióticos del ecosistema).

Infraestructura verde: una red de características naturales o seminaturales – por ejemplo, humedales, suelos saludables y ecosistemas forestales, capa de nieve–, que puede ayudar a aumentar los servicios de los ecosistemas.

Integridad del ecosistema: la capacidad de un ecosistema de apoyar y mantener su funcionamiento ecológico y biodiversidad característicos (es decir, la composición de especies y la estructura de la comunidad). La integridad ecológica puede medirse como el grado en el que se mantiene una comunidad de organismos nativos.

Intercambios externos: los flujos bidireccionales que ocurren entre unidades ecológicas dentro del paisaje o el medio acuático, incluidos los flujos de energía, agua, fuego, material genético, organismos y propágulos. Los intercambios se facilitan con la conectividad entre hábitats.

Inventario de línea base: una evaluación de los elementos bióticos y abióticos actuales de un sitio antes de la restauración ecológica, incluidos sus atributos de composición, estructurales y funcionales. El inventario se implementa al inicio de la fase de planificación de la restauración, a la par con el desarrollo de un modelo de referencia, para sustentar con información la planificación, incluidos los objetivos de restauración, las metas medibles y las prescripciones de tratamientos.

Manejo adaptativo: un proceso continuo para mejorar las políticas y prácticas de manejo en proyectos y programas futuros mediante la aplicación del conocimiento aprendido a través de la evaluación de políticas y prácticas empleadas previamente. Es la práctica de repasar las decisiones de manejo y revisarlas a la luz de nueva información.

Manejo o gestión o (de un ecosistema): una clasificación amplia que puede incluir el mantenimiento y la reparación de los ecosistemas (incluida la restauración).

Mantenimiento del ecosistema: actividades continuas, aplicadas después de una recuperación completa o parcial, destinadas a contrarrestar los procesos de degradación ecológica para mantener los atributos de un ecosistema. Es probable que se necesite un mantenimiento continuo mayor en los sitios restaurados donde persisten niveles más altos de amenaza que en los sitios donde las amenazas han sido controladas.

Modelo de referencia: un modelo que indica la condición esperada en la que habría estado el sitio de restauración si no se hubiera degradado (con respecto a la flora, fauna y otra biota, componentes abióticos, funciones, procesos y etapas sucesionales). Esta condición no es la condición histórica, sino que refleja los antecedentes y los cambios previstos en las condiciones ambientales.

Monitoreo participativo: un sistema que involucra a las partes interesadas de múltiples niveles en el diseño del proyecto y la recopilación y análisis de datos de una actividad de manejo determinada que conduce a mejorar la toma de decisiones colaborativas.

Nicho climático: el intervalo climático en el que se distribuyen las poblaciones de una especie. Con el cambio climático, es probable que las posiciones geográficas de estos nichos cambien.

Niveles tróficos: niveles en las redes alimentarias (p. ej., productores, herbívoros, depredadores y descomponedores).

Nucleación aplicada: una estrategia que utiliza el establecimiento de parches pequeños de vegetación (con frecuencia árboles o arbustos) o poblaciones de animales (p. ej., corales, ostras) para servir como áreas focales de recuperación del ecosistema al incrementar la colonización.

Objeto: los resultados ecológicos y sociales específicos que se buscan al final del proyecto, incluido el ecosistema nativo a restaurar.

Paisajes multifuncionales sostenibles: paisajes creados y manejados para integrar la producción humana y el uso en el tejido ecológico de un paisaje que mantiene las funciones críticas del ecosistema, el flujo de servicios y la retención de la biodiversidad.

Partes interesadas (o actores): las personas y organizaciones involucradas o afectadas por una acción o política y pueden ser incluidas directa o indirectamente en el proceso de toma de decisiones; en la planificación ambiental y de la conservación, las partes interesadas suelen incluir representantes gubernamentales, empresas, científicos, propietarios de tierras y usuarios locales de los recursos naturales.

Patrones espaciales: la estructura espacial de los componentes del ecosistema (en el plano vertical u horizontal) que surge de diferencias en el sustrato, topografía, hidrología, vegetación, regímenes de disturbio u otros factores.

Potencial de recuperación natural: capacidad de que regresen los atributos del ecosistema a un sitio mediante la regeneración natural. El grado de este potencial en un ecosistema degradado dependerá del alcance y la duración del impacto y de si el impacto es similar a aquéllos a los que las especies del ecosistema se han adaptado a lo largo de marcos de tiempo evolutivos. El potencial de recuperación natural debe estar presente para la aplicación de enfoques de regeneración natural o regeneración asistida en la restauración ecológica.

Practicante: un individuo que emplea habilidades y conocimiento práctico para planificar, implementar y monitorear las tareas de restauración ecológica en los sitios del proyecto.

Preparación climática: se refiere a una circunstancia en la que el material genético usado en la restauración ha sido seleccionado, con base en la genética y la ciencia del clima, para mejorar la probabilidad de que una especie permanezca ante los escenarios previstos de cambio climático.

Productividad: la tasa de generación de biomasa derivada del crecimiento y reproducción de plantas y animales.

Programa de restauración ecológica: un conjunto amplio de muchos proyectos de restauración.

Propágulo: cualquier material que funcione en la propagación de un organismo. Los propágulos son producidos por plantas, animales, hongos y microorganismos.

Proyecto de restauración ecológica: cualquier esfuerzo organizado emprendido para conseguir una recuperación significativa de un ecosistema nativo, desde la fase de planeación hasta la implementación y el monitoreo. Un proyecto puede requerir de acuerdos o ciclos de financiamiento múltiples. Un proyecto también puede ser uno de muchos proyectos en un programa de restauración a largo plazo.

Rasgos funcionales: características morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, estructurales, fenológicas o de comportamiento que se expresan en los fenotipos de organismos individuales y se consideran relevantes para la respuesta de dichos organismos al medio ambiente, o por sus efectos en las propiedades del ecosistema.

Reciclaje (ecológico): la transferencia (entre partes de un ecosistema) de recursos como agua, carbono, nitrógeno y otros elementos que son fundamentales para todas las demás funciones del ecosistema.

Reclamación: el proceso de hacer que las tierras severamente degradadas (p. ej., antiguas minas o vertederos) sean aptas para el cultivo o alcancen un estado adecuado para algún uso humano. También se utiliza para describir la formación de tierras productivas a partir del mar.

Reclutamiento: producción de una generación posterior de organismos. Se mide no sólo por el número de organismos nuevos (p. ej., no todas las crías o plántulas), sino por el número de los que se desarrollan como individuos independientes en la población.

Recuperación: proceso por el cual un ecosistema recupera su composición, estructura y funcionamiento respecto a los niveles identificados para el ecosistema de referencia. En restauración, la recuperación suele ser asistida por actividades de restauración –y la recuperación puede describirse como parcial o completa.

Recuperación completa: estado en el cual todos los atributos del ecosistema se parecen mucho a los del ecosistema de referencia (modelo). Está precedido por la demostración de la autoorganización del ecosistema que conduce a la resolución total y la madurez de los atributos ecosistémicos. Al alcanzar el punto de autoorganización, la fase de restauración puede considerarse completa y el manejo cambia a una fase de mantenimiento.

Recuperación parcial: estado en el que se ha producido cierta recuperación, pero no todos los atributos del ecosistema se parecen a los del modelo de referencia.

Recuperación significativa: el nivel de recuperación que se busca si un proyecto se denomina de restauración ecológica. Este nivel de recuperación no se puede relacionar estrechamente con una métrica de recuperación particular (aunque un nivel de recuperación intermedio sería un criterio mínimo razonable) porque el valor de un proyecto de restauración puede estar influido por la importancia ecológica del ecosistema y la escala del proyecto.

Refuerzo o reforzamiento: el movimiento intencional y la liberación de un organismo en una población existente de congéneres. El refuerzo busca aumentar la viabilidad de la población, por ejemplo, aumentando su tamaño, aumentando la diversidad genética o la representatividad de grupos o etapas demográficas específicas. Esta definición es muy similar y a veces utilizada como sinónimo de aumento o aumentación.

Regeneración: véase **Regeneración natural, Regeneración asistida.**

Regeneración asistida: un enfoque de restauración que se centra en desencadenar activamente cualquier capacidad de regeneración natural de la biota remanente en el sitio o en su cercanía, en lugar de reintroducir la biota en el sitio o dejar un sitio para que se regenere. Aunque este enfoque se aplica típicamente a sitios con degradación baja o intermedia, incluso algunos sitios muy degradados han mostrado ser aptos para la regeneración asistida, siempre que haya tratamientos adecuados y plazos de tiempo suficientes. Las intervenciones incluyen la eliminación de organismos plaga, la reintroducción de regímenes de disturbio y la implementación de recursos para acelerar la colonización.

Regeneración natural: la germinación, el nacimiento u otra forma de reclutamiento de la biota, incluidas plantas, animales y microbiota, que no involucran la intervención humana, ya sea que

surjan de procesos de colonización, dispersión o in situ.

Régimen de disturbio: el patrón, la frecuencia, la temporalidad o la ocurrencia de eventos de disturbio que son característicos de un ecosistema en un periodo de tiempo.

Rehabilitación: acciones de manejo orientadas a restablecer un nivel de funcionamiento del ecosistema en los sitios degradados, donde el objetivo es la provisión renovada y continua de servicios ecosistémicos, más que la biodiversidad e integridad de un ecosistema de referencia nativo designado.

Reintroducción: devolver la biota a un área donde existió anteriormente.

Remediación: una actividad de manejo, como la eliminación o la desintoxicación de contaminantes o nutrientes en exceso en el suelo y el agua, que busca eliminar las fuentes de degradación.

Renaturalización o resilvestración: la reintroducción planificada de una especie vegetal o animal y especialmente una especie clave o depredador tope (como el lobo gris o el lince) en un hábitat del que ha desaparecido (debido a la caza o la destrucción del hábitat) como un esfuerzo para aumentar la biodiversidad y restablecer la salud de un ecosistema.

Resiliencia: véase Resiliencia del ecosistema – y Resiliencia socio-ecológica.

Resiliencia del ecosistema: el grado, forma y ritmo de recuperación de las propiedades del ecosistema después de un disturbio antrópico o natural. En las comunidades de plantas y animales esta propiedad es altamente dependiente de las adaptaciones de las especies individuales a los disturbios o las tensiones experimentadas durante la evolución de las especies. Véase también Resiliencia socioecológica.

Resiliencia socioecológica: la capacidad de un sistema socioecológico complejo para amortiguar disturbios y reorganizarse mientras se producen cambios, de modo que conserve un funcionamiento, estructura, identidad y retroalimentación similares. Es una medida del alcance en que un sistema socioecológico complejo puede adaptarse y persistir ante amenazas y tensiones.

Restauración: véase **Restauración ecológica.**

Restauración del paisaje: un proceso planificado que busca recuperar la integridad ecológica a escala de paisaje y la capacidad de un paisaje para proporcionar servicios ecosistémicos específicos del paisaje, fundamentales para mejorar el bienestar humano, a largo plazo.

Restauración del Paisaje Forestal (RPF): un proceso orientado a la recuperación del funcionamiento ecológico y el mejoramiento del bienestar humano en paisajes deforestados o degradados y que puede incorporar una o más actividades aliadas junto con la restauración ecológica. La RPF no debería causar daños colaterales a la biodiversidad.

Restauración ecológica: el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. (El término restauración de ecosistemas a veces se usa indistintamente del término restauración ecológica, pero la restauración ecológica siempre aborda la conservación de la biodiversidad y la integridad ecológica, mientras que algunos enfoques para la restauración de ecosistemas pueden centrarse exclusivamente en la prestación de servicios ecosistémicos).

Restauración obligatoria: la restauración que es requerida (ordenada) por el gobierno, un tribunal de justicia o una autoridad reglamentaria, que puede incluir algunos tipos de compensaciones de biodiversidad. En algunas partes del mundo, la restauración obligatoria se incluye en los programas de mitigación compensatoria.

Revegetación: establecimiento, por cualquier medio, de plantas en los sitios (incluidas áreas terrestres, dulceacuícolas y marinas) que pueden involucrar o no a especies locales o nativas.

Secuestro de carbono: la captura y almacenamiento a largo plazo del bióxido de carbono atmosférico (normalmente en la acumulación de biomasa por medio de la fotosíntesis, el crecimiento de la vegetación y el aumento de la materia orgánica del suelo). Esto puede ocurrir de forma natural o ser el resultado de acciones para reducir los impactos del cambio climático.

Servicios ecosistémicos: las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano. Incluyen la producción de suelo, agua y aire limpios, la regulación del clima y las enfermedades, el reciclaje de nutrientes y la polinización, el suministro de una variedad de bienes útiles para los seres humanos y el potencial para la satisfacción de valores estéticos, de recreación y otros valores humanos. Se conocen comúnmente como servicios de provisión, regulación, soporte y culturales. Los objetivos de restauración pueden referirse específicamente al restablecimiento de determinados servicios ecosistémicos o al mejoramiento de la calidad y el flujo de uno o más servicios.

Sistema de las Cinco Estrellas: una herramienta utilizada para identificar el nivel de recuperación al que aspira un proyecto de restauración o rehabilitación, y para evaluar progresivamente y seguir el grado de recuperación del ecosistema nativo a lo largo del tiempo en relación al modelo de referencia. Esta herramienta también proporciona un medio para reportar cambios desde la condición de línea base en relación con la referencia. (Nota: este sistema se refiere únicamente a los resultados de la recuperación y no a las actividades de restauración utilizadas para lograrlos).

Sistema socioecológico: sistemas complejos, integrados y conectados de personas y naturaleza, enfatizando que los seres humanos son parte de la naturaleza.

Sitio: área o localidad discreta. Puede ocurrir a diferentes escalas, pero generalmente a la escala de parche o propiedad (es decir, menor que un paisaje).

Sitio de referencia: un sitio intacto existente que tiene atributos y una etapa sucesional similar a la del sitio del proyecto de restauración, y que se usa para documentar al modelo de referencia. Idealmente, el modelo de referencia incluiría la información de múltiples sitios de referencia.

Sobreutilización: cualquier forma de aprovechamiento o explotación de un ecosistema más allá de su capacidad para regenerar esos recursos. Algunos ejemplos incluyen la sobrepesca, la tala excesiva, el pastoreo excesivo y la quema excesiva.

Soluciones basadas en la naturaleza: acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan los desafíos sociales de manera eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente bienestar humano y beneficios para la biodiversidad.

Sucesión (ecológica): el proceso o patrón de reemplazo o desarrollo de un ecosistema después de un disturbio.

Sustrato: el suelo, arena, roca, costra, escombro u otro medio donde crecen los organismos y se desarrollan los ecosistemas.

Translocación: el transporte intencional (por los humanos) de organismos a una parte diferente de un paisaje o ambiente acuático o a áreas más lejanas. Generalmente, el propósito es conservar una especie, subespecie o población amenazada.

Trayectoria (ecológica): curso o ruta de la condición de un ecosistema (es decir, estructura y funcionamiento)

a lo largo del tiempo. Esto puede implicar degradación, estasis, adaptación a condiciones ambientales variables, o respuesta a la restauración ecológica – lo que idealmente conduce a la recuperación de la integridad y la resiliencia perdidas.

Umbral (ecológico): un punto en el que un pequeño cambio en las condiciones ambientales o biofísicas provoca que un ecosistema cambie a un estado ecológico diferente. Una vez que se han superado uno o más umbrales ecológicos, es posible que un ecosistema no vuelva fácilmente a su estado o trayectoria previos sin intervenciones humanas importantes, o no vuelva en absoluto si el umbral es irreversible.

Valor intrínseco (de los ecosistemas y la biodiversidad): el valor intrínseco es el valor que tiene una entidad por sí misma, por lo que es o como un fin. El tipo de valor contrastante es el valor instrumental. El valor instrumental es el valor que tiene algo como medio para un fin deseado o valorado.

Zona de transferencia de semillas: un área geográfica definida dentro de la cual se predice que las semillas se pueden mover sin efectos negativos para la adecuación.

LITERATURA CITADA

Akhtar-Schuster M, Stringer LC, Erlewein A, Metternicht G, Minelli S, Safriel U, Sommer S (2017)
Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions. Journal of Environmental Management 195:4-15

Allison SK, Murphy SD (eds) (2017)
Routledge handbook of ecological and environmental restoration. Routledge, Abingdon, UK

Aronson J, Alexander S (2013)
Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. Restoration Ecology 21:293-296

Beatty CR, Cox NA, Kuzee ME (2018a)
Biodiversity guidelines for forest landscape restoration opportunities assessments. First edition. IUCN, Gland, Switzerland

Beatty CR, Raes L, Vogl AL, Hawthorne PL, Moraes M, Saborio JL, Meza Prado K (2018b)
Landscapes, at your service: applications of the Restoration Opportunities Optimization Tool (ROOT). IUCN, Gland, Switzerland

Beatty CR, Vidal A, Devesa T, Kuzee ME (2018c)
Accelerating biodiversity commitments through forest landscape restoration: evidence from assessments in 26 countries using the Restoration Opportunities Assessment Methodology (ROAM) (Working Paper). Convention on Biological Diversity Information Document CBD/COP/14/INF/18. IUCN, Gland, Switzerland

Besseau P, Graham S, Christophersen T (eds) (2018)
Restoring forests and landscapes: the key to a sustainable future. Global Partnership on Forest and Landscape Restoration, Vienna, Austria

Booth TH, Williams KJ, Belbin L (2012)
Developing biodiverse plantings suitable for changing climatic conditions 2: using the Atlas of Living Australia. Ecological Management & Restoration 13:274-281

Bradshaw AD (1983)
The reconstruction of ecosystems. Journal of Applied Ecology 20:1-17

Breed MF, Stead MG, Ottewell KM, Gardner MG, Lowe AJ (2013)
Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. Conservation Genetics 14:1-10

Broadhurst LM, Lowe A, Coates DJ, Cunningham SA, McDonald M, Vesk PA, Yates C (2008)
Seed supply for broadscale restoration: maximizing evolutionary potential. Evolutionary Applications 1:587-597

Cairns J, Jr, Dickson KL, Herricks EE (eds) (1977)
Recovery and restoration of damaged ecosystems. University Press of Virginia, Charlottesville, Virginia

Castillo-Escrivà A, López-Iborra GM, Cortina J, Tormo J (2019)
The use of branch piles to assist in the restoration of degraded semiarid steppes. Restoration Ecology 27:102-108

CBD (2016) Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5.
Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-05-en.pdf (accessed 21 May 2019)

CBD (2018) CBD (2018) Biodiversity and climate change. CBD/COP/14/L.23.
Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada https://www.cbd.int/

doc/c/9860/44b3/042fbf32838cf31a771bb145/cop-14-l-23-en.pdf (accessed 21 May 2019)

Chase JM (2003)
Community assembly: when should history matter? Oecologia 136:489-498

Chasek P, Akhtar-Schuster M, Orr BJ, Luise A, Rakoto Ratsimba H, Safriel U (2019)
Land degradation neutrality: The science-policy interface from the UNCCD to national implementation. Environmental Science & Policy 92:182-190

Chazdon RL (2014)
Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. University of Chicago Press, Chicago, Illinois

Chazdon RL, Bodin B, Guariguata MR, Lamb D, Walder B, Chokkalingam U, Shono K (2017)
Partnering with nature: the case for natural regeneration in forest and landscape restoration. Montreal, Canada

Chazdon RL, Guariguata MR (2016)
Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. Biotropica 48:716-730

Chazdon RL, Guariguata MR (2018)
Decision support tools for forest landscape restoration: current status and future outlook. Occasional Paper 183. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia

Clewell A, Rieger J, Munroe J (2005)
Guidelines for developing and managing ecological restoration projects. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona www.ser.org

Clewell AF, Aronson J (2013)
Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession. Second edition. Island Press, Washington, DC

Conservation Measures Partnership (2013)
Open standards for the practice of conservation. Version 3.0. http://cmp-openstandards.org/download-os/ (accessed 20 May 2019)

Convention on Biological Diversity (2016)
Ecosystem restoration: short-term action plan. CBD/COP/DEC/XIII/5 https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-13 (accessed 21 May 2019)

Corbin JD, Holl KD (2012)
Applied nucleation as a forest restoration strategy. Forest Ecology and Management 265:37-46

Corbin JD, Robinson GR, Hafkemeyer LM, Handel SN (2016)
A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. Ecological Applications 26:104-114

Crowe KA, Parker WH (2008)
Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. Climatic Change 89:355-370

Doyle M, Drew C (2012)
Large-scale ecosystem restoration: five case studies from the United States. Island Press, Washington, DC

Echeverria C, Coomes D, Salas J, Rey-Benayas JM, Lara A, Newton A (2006)
Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. Biological Conservation 130:481-494

Egan D, Howell EA (2001)
The historical ecology handbook. A restorationist's guide to reference ecosystems. Island Press, Washington, DC

Elgar AT, Freebody K, Pohlman CL, Shoo LP, Catterall CP (2014)
Overcoming barriers to seedling regeneration during forest restoration on tropical pasture land and the potential value of woody weeds. Frontiers in Plant Science 5:200

Evans K, Guariguata MR (2019)
A diagnostic for collaborative monitoring in forest landscape restoration. Occasional Paper 193. CIFOR, Bogor, Indonesia

Frazier AE, Bryan BA, Buyantuev A, Chen L, Echeverria C, Jia P, Liu L, Li Q, Ouyang Z, Wu J, Xiang W-N, Yang J, Yang L, Zhao S (2019)

Ecological civilization: perspectives from landscape ecology and landscape sustainability science. Landscape Ecology 34:1-8

Gann G, Lamb D (2006)
Ecological restoration: a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona www.ser.org

Gibson AL, Espeland EK, Wagner V, Nelson CR (2016)
Can local adaptation research in plants inform selection of native plant materials? An analysis of experimental methodologies. Evolutionary Applications 9:1219-1228

Gibson AL, Fishman L, Nelson CR (2017)
Polyploidy: a missing link in the conversation about seed transfer of a commonly seeded native grass in western North America. Restoration Ecology 25:184-190

Green DG, Sadedin S (2005)
Interactions matter—complexity in landscapes and ecosystems. Ecological Complexity 2:117-130

Grubb PJ, Hopkins AJM (1986)
Resilience at the level of the plant community. Pages 21-38 In: Dell B, Hopkins AJM and Lamont BB (eds) Resilience in mediterranean-type ecosystems. Springer Netherlands, Dordrecht

Guan Y, Kang R, Liu J (2019)
Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis. Restoration Ecology 27:647-660

Hanson C, Buckingham K, DeWitt S, Laestadius L (2015)
The restoration diagnostic v. 1.0. World Resources Institute, Washington DC

Havens K, Vitt P, Still S, Kramer AT, Fant JB, Schatz K (2015)
Seed sourcing for restoration in an era of climate change. Natural Areas Journal 35:122-133

Hobbs RJ, Norton DA (2004)
Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Pages 72-95 In: Temperton VM, Hobbs RJ, Nuttle T and Halle S (eds) Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice. Island Press, Washington, DC

Holl KD, Crone EE, Schultz CB (2003)
Landscape restoration: moving from generalities to methodologies. BioScience 53:491-502

Holl KD, Reid JL, Chaves-Fallas JM, Oviedo-Brenes F, Zahawi RA (2017)
Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. Journal of Applied Ecology 54:1091-1099

Holl KD, Reid JL, Oviedo-Brenes F, Kulikowski AJ, Zahawi RA (2018)
Rules of thumb for predicting tropical forest recovery. Applied Vegetation Science 21:669-677

Holling CS (1973)
Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics 4:1-23

Hopper SD (2009)
OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. Plant and Soil 322:49-86

Huff DD, Miller LM, Chizinski CJ, Vondracek B (2011)
Mixed-source reintroductions lead to outbreeding depression in second-generation descendents of a native North American fish. Molecular Ecology 20:4246-4258

Hufford K, Mazer S (2003)
Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. Trends in Ecology & Evolution 18:147-155

Hulvey KB, Aigner PA (2014)
Using filter-based community assembly models to improve restoration outcomes. Journal of Applied Ecology 51:997-1005

IUCN and WRI (2014)
A guide to the Restoration Opportunities

Assessment Methodology (ROAM): assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level. Working Paper (Road-test edition). IUCN, Gland, Switzerland

Jordan F, Arrington DA (2014)
Piscivore responses to enhancement of the channelized Kissimmee River, Florida, U.S.A. Restoration Ecology 22:418-425

Kareiva P, Marvier M, McClure M (2000)
Recovery and management options for spring/summer Chinook salmon in the Columbia River Basin. Science 290:977-979

Kaye TN (2001)
Common ground and controversy in native plant restoration: the SOMS debate, source distance, plant selections, and a restoration-oriented definition of native. Pages 5-12 In: Rose R and Haase D (eds) Native plant propagation and restoration strategies. Nursery Technology Cooperative and Western Forestry and Conservation Association, Corvallis, Oregon

Keenleyside KA, Dudley N, Cairns S, Hall CM, Stolton S (2012)
Ecological restoration for protected areas: Principles, guidelines and best practices. IUCN, Gland, Switzerland

Kramer AT, Havens, K. (2009)
Plant conservation genetics in a changing world. Trends in Plant Science 14:599-607

Kramer AT, Wood TE, Frischie S, Havens K (2018)
Considering ploidy when producing and using mixed-source native plant materials for restoration. Restoration Ecology 26:13-19

Liu J, Bawa KS, Seager TP, Mao G, Ding D, Lee JSH, Swim JK (2019)
On knowledge generation and use for sustainability. Nature Sustainability 2:80-82

Liu J, Calmon M, Clewell A, Liu J, Denjean B, Engel VL, Aronson J (2017)
South–south cooperation for large-scale ecological restoration. Restoration Ecology 25:27-32

Liu J, Clewell A (2017)
Management of ecological rehabilitation projects. Science Press, Beijing

Lynam T, De Jong W, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007)
A review of tools for incorporating community knowledge, preferences, and values into decision making in natural resources management. Ecology and Society 12:5

Mansourian S (2018)
In the eye of the beholder: reconciling interpretations of forest landscape restoration. Land Degradation & Development 29:2888-2898

Martínez-Ramos M, Pingarroni A, Rodríguez-Velázquez J, Toledo-Chelala L, Zermeño-Hernández I, Bongers F (2016)
Natural forest regeneration and ecological restoration in human-modified tropical landscapes. Biotropica 48:745-757

Matthews JA (1999)
Disturbance regimes and ecosystem response on recently-deglaciated substrates. Pages 17-37 In: Walker LA (ed) Ecosystems of disturbed ground. Elsevier, Amsterdam

McDonald T (2000)
Resilience, recovery and the practice of restoration. Ecological Restoration 18:10-20

McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2016a)
National standards for the practice of ecological restoration in Australia. Restoration Ecology 24:S6-S32

McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW (2016b)
International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, DC
http://www.ser.org/?page=SERStandards
(accessed 20 May 2019)

McDonald T, Jonson J, Dixon KW (2018)
National standards for the practice of ecological restoration in Australia. Second edition. Standards Reference Group, Society for Ecological

Restoration Australasia www.seraustralasia.com (accessed 20 May 2019)

Mitchell RJ, Rose RJ, Palmer SCF (2008)
Restoration of *Calluna Vulgaris* on grass-dominated moorlands: The importance of disturbance, grazing and seeding. Biological Conservation 141:2100-2111

Orr, BJ, Cowie AL, Castillo Sanchez VM, Chasek P, Crossman ND, Erlewein A, Louwagie G, Maron M, Metternicht GI, Minelli S, Tengberg AE, Walter S, Welton S (2017)
Scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. A report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany https://www.unccd.int/publications/scientific-conceptual-framework-land-degradation-neutrality-report-science-policy (accessed 21 May 2019)

O'Beirn FX, Luckenbach MW, Nestlerode JA, Coates GM (2000)
Toward design criteria in constructed oyster reefs: oyster recruitment as a function of substrate type and tidal height. Journal of Shellfish Research 19:387-395

O'Farrell PJ, Anderson PML (2010)
Sustainable multifunctional landscapes: a review to implementation. Current Opinion in Environmental Sustainability 2:59-65

Palmer MA, Zedler JB, Falk DA (eds) (2016)
Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC

Perry D (1994)
The soil ecosystem. Pages 302-338 In: Perry DA (ed) Forest ecosystems. The Johns Hopkins University Press, Baltimore

Powers SP, Peterson CH, Grabowski JH, Lenihan HS (2009)
Success of constructed oyster reefs in no-harvest sanctuaries implications for restoration. Marine Ecology Progress Series 389:159-170

Prach K, Hobbs RJ (2008)
Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. Restoration Ecology 16:363-366

Prach K, Rehounková K, Lencová K, Jírová A, Konvalinková P, Mudrák O, Študent V, Vanecek Z, Tichý L, Petrík P, Šmilauer P, Pyšek P (2014)
Vegetation succession in restoration of disturbed sites in Central Europe: the direction of succession and species richness across 19 seres. Applied Vegetation Science 17:193-200

Prober S, Byrne M, McLean E, Steane D, Potts B, Vaillancourt R, Stock W (2015)
Climate-adjusted provenancing: a strategy for climate-resilient ecological restoration. Frontiers in Ecology and Evolution 3

REDD+ SES (2012)
REDD+ social and environmental standards. Version 2. www.redd-standards.org

Rey Benayas JM, Bullock JM, Newton AC (2008)
Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. Frontiers in Ecology and the Environment 6:329-336

Rogers DL, Montalvo AM (2004)
Genetically appropriate choices for plant materials to maintain biological diversity. Lakewood, Colorado http://www.fs.fed.us/r2/publications/botany/plantgenetics.pdf (accessed 20 May 2019)

Rokich DP (2016)
Melding of research and practice to improve restoration of Banksia woodlands after sand extraction, Perth, Western Australia. Ecological Management & Restoration 17:112-123

Sáenz-Romero C, Lindig-Cisneros RA, Joyce DG, Beaulieu J, St. Clair JB, Jaquish BC (2016).
Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 22:303-323. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.10.052

Sagvik J, Uller T, Olsson M (2005)
Outbreeding depression in the common frog, Rana temporaria. Conservation Genetics 6:205-211

Saunders A, Norton DA (2001)
Ecological restoration at Mainland Islands in

New Zealand. Biological Conservation 99:109-119

Seddon S, Venema S, Miller DJ (2004)
Seagrass rehabilitation in metropolitan Adelaide. II. Preliminary draft donor bed independent methods progress report. SARDI Aquatic Sciences report to the Department for Environment and Heritage, Adelaide

SER (2004)
The SER International primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona www.ser.org

SER (2013)
http://www.ser.org/page/CodeofEthics/Code-of-Ethics.htm (accessed 3 March 2018)

SER and IUCN-CEM (2018)
Forum on biodiversity and global forest restoration summary report and plan of action. https://ser.site-ym.com/page/SERDocuments (accessed 20 May 2019)

Suding KN, Gross KL (2006)
The dynamic nature of ecological systems: multiple states and restoration trajectories. Pages 190-209 In: Falk DA, Palmer MA, Zedler JB (eds) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC

Swetnam TW, Allen CD, Betancourt JL (1999)
Applied historical ecology: using the past to manage for the future. Ecological Applications 9:1189-1206

Temperton VM, Hobbs RJ, Nuttle T, Halle S (eds) (2004)
Ecological filters, thresholds, and gradients in resistance to ecosystem reassembly. Island Press, Washington, DC

UNCCD (2017) The global land outlook, first edition.
United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res.pdf (accessed 20 May 2019)

Van Andel J, Aronson J (eds) (2012)
Restoration ecology: the new frontier. 2nd Edition Blackwell, Oxford, UK

Vander Zanden MJ, Olden JD, Gratton C (2006)
Food web approaches in restoration ecology. Pages 165-189 In: Falk D, Palmer M and Zedler J (eds) Foundations of restoration ecology. Island Press, Washington, DC

Walker LR (2011)
Integration of the study of natural and anthropogenic disturbances using severity gradients. Austral Ecology 36:916-922

Wang Y, Pedersen JLM, Macdonald SE, Nielsen SE, Zhang J (2019)
Experimental test of assisted migration for conservation of locally range-restricted plants in Alberta, Canada. Global Ecology and Conservation 17: e00572

Westman WE (1978)
Measuring the inertia and resilience of ecosystems. BioScience 28:705-710

Wiggins HL, Nelson CR, Larson AJ, Safford HD (2019)
Using LiDAR to develop high-resolution reference models of forest structure and spatial pattern. Forest Ecology and Management 434:318-330

Wu J (2013)
Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. Landscape Ecology 28:999-1023

Zedler JB, Stevens ML (2018)
Western and traditional ecological knowledge in ecocultural restoration. San Francisco Estuary and Watershed Science 16:1-18

ANEXO 1: SELECCIÓN DE SEMILLAS Y OTROS PROPÁGULOS PARA LA RESTAURACIÓN

Este anexo ha sido adaptado y ampliado de McDonald et al. (2016a). Si bien hay muchas consideraciones a tener en cuenta al revisar la selección de semillas de plantas y otros **propágulos** (p. ej., material vegetal, esporas, huevos, crías vivas) para proyectos de restauración, las consideraciones genéticas pueden ser primordiales para asegurar que las poblaciones resultantes se reproduzcan y persistan con éxito. Estas consideraciones son particularmente importantes en paisajes fragmentados, especialmente por el cambio climático.

CONSIDERACIONES GENÉTICAS PARA OBTENER SEMILLAS U OTROS PROPÁGULOS[1]

Los practicantes de la restauración han adoptado ampliamente el concepto de restringir la recolección de propágulos a un **área de procedencia local o zona de transferencia de semillas** para asegurar que los propágulos seleccionados para la restauración están adaptados localmente. Sin embargo, el protocolo de recolectar únicamente propágulos de sitios muy cercanos al sitio de restauración se considera ahora una interpretación inadecuada de la procedencia local, ya que la distancia geográfica puede no ser una buena medida de las diferencias ecológicas entre sitios. Es decir, muchos profesionales ahora comprenden que el grado de adaptación local varía según la especie, la población y el hábitat (Gibson et al. 2016), y que un genotipo "local" puede ocurrir en áreas estrechas o amplias (es decir, de decenas a cientos de km^2), dependiendo de la especie y su biología. Por ejemplo, se predice que las plantas anuales que presentan mucha **autofecundación** y que tienen semillas dispersadas por gravedad y que históricamente presentan poblaciones aisladas y discretas, tendrán rangos locales más restringidos que las plantas con semillas dispersadas por viento, agua o animales, especialmente aquéllas que han experimentado una expansión reciente de su distribución (Hufford y Mazer 2003; Broadhurst et al. 2008). Más aun, en un paisaje en gran parte degradado, en los fragmentos pequeños hay el riesgo de una endogamia elevada cuando el tamaño de las poblaciones cae por debajo del umbral específico de la especie. Debido a que la depresión endogámica puede reducir el funcionamiento y la adaptación de las poblaciones, generalmente lo mejor es recolectar propágulos de poblaciones más grandes, con mayor densidad. Esto significa que en paisajes fragmentados, donde las poblaciones son más pequeñas, menos densas y más aisladas, puede ser necesario recolectar propágulos a mayores distancias y de múltiples fuentes (y potencialmente multiplicarlos en áreas de producción) para capturar suficiente diversidad genética y suficientes propágulos para reconstruir comunidades funcionales y resilientes.

Cuando se obtienen propágulos de manera más amplia, deben considerarse los riesgos de la **depresión exogámica.** Aunque no es tan común como la **depresión endogámica**, puede ocurrir

[1] En el caso de las plantas, nos referimos a las semillas como los propágulos principales que se utilizan en la restauración, pero a veces no se usan semillas. Algunas plantas producen muy pocas semillas y se propagan con mayor frecuencia mediante estacas, divisiones o micropropagación. Si bien los principios genéticos con respecto a la procedencia son similares independientemente del tipo de propágulo, es importante recordar que la diversidad genética es limitada cuando se utilizan métodos de propagación vegetativa y esto puede afectar la capacidad de una población para responder a futuros desafíos adaptativos. Este principio general también es válido para algunos animales como corales, o para hongos, cuando se utilizan trozos de individuos o colonias como propágulos en lugar de esporas, huevos u otros modos de reproducción sexual.

cuando se cruzan poblaciones genéticamente divergentes de una especie. En algunos casos, la pérdida de adecuación se debe a una pérdida de adaptación local. Si los progenitores están adaptados a condiciones diferentes, la descendencia resultante puede estar mal adaptada a cualquiera de los sitios parentales. En otros casos, los complejos de genes coadaptados pueden separarse, lo que resulta en una pérdida de adecuación (Rogers y Montalvo 2004). La depresión exogámica puede ser particularmente grave en plantas cuando se cruzan poblaciones de diferentes ploidías (el número de cromosomas en las células) en restauraciones o en áreas de producción de semillas. Las diferencias de ploidía son relativamente comunes tanto en Poaceae como en Asteraceae, dos familias usadas ampliamente en restauración (Kramer et al. 2018) y se pueden encontrar poblaciones muy próximas con diferentes niveles de ploidía (Gibson et al. 2017). Debido a que las poblaciones de ploidía diferente no deben mezclarse en la producción de viveros o la restauración, es posible que se requieran pruebas de citometría de flujo para determinar los niveles de ploidía de una población antes de mezclarla, si se desea una estrategia de mezcla. La depresión exogámica en animales no se ha identificado tan ampliamente como en las plantas, pero existe (p. ej., Sagvik et al. 2005; Huff et al. 2011).

FUENTES DE PROPÁGULOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

El intervalo climático en el que existe actualmente una especie se conoce como su "nicho" o "envoltura" climática. A medida que cambia el clima, es posible que esta envoltura climática se desacople del intervalo actual de una especie y, donde las condiciones se vuelven más cálidas, se puede mover más hacia las zonas polares o hacia mayores elevaciones. Las envolturas climáticas también pueden ser afectadas por cambios en la precipitación, con áreas que se vuelven más secas o más húmedas. Sin embargo, dado que es probable

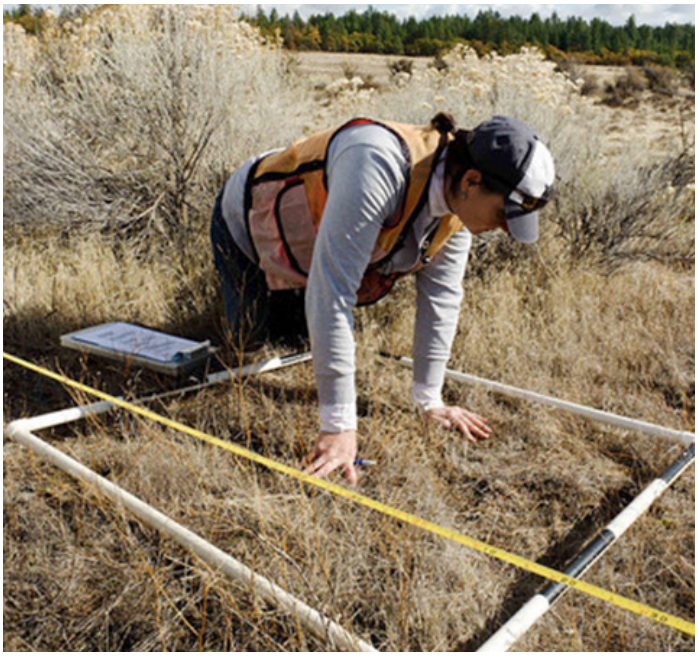


Foto de Mel Asher

que la precipitación cambie de formas menos predecibles que la temperatura, es probable que el desplazamiento de las envolturas climáticas sea más complejo. Estos cambios también pueden afectar a las diferentes poblaciones de una especie a tasas diferenciales.

Aunque muchas especies han resistido cambios climáticos en el pasado, la tasa del cambio climático actual, así como la fragmentación y las barreras antropogénicas a la migración, no tienen precedentes y cuestionan la supervivencia de las especies. No podemos predecir con precisión el tipo y la escala de los riesgos a los que se enfrentan los ecosistemas, porque solo se ha estudiado individualmente una proporción pequeña de especies. Sabemos que algunas especies o poblaciones pueden perderse en sus ubicaciones actuales, y otras pueden extinguirse local o regionalmente debido a las barreras a la migración y a otros factores. Otras colonizarán nuevas áreas, alterando los ensamblajes locales de especies. Algunas pueden tener suficiente "plasticidad adaptativa" para persistir a medida que el clima cambia, como se ha demostrado con experimentos de translocación. Es decir, una planta individual puede ser capaz de ajustar su forma a través de mecanismos como

reducir el tamaño de sus hojas, aumentar el grosor de las hojas o alterar los tiempos de floración y emergencia. Los animales pueden modificar sus hábitos alimenticios (p. ej., osos omnívoros que cambian sus alimentos a plantas más resilientes al cambio climático). Las especies de fauna generalistas normalmente sobrevivirán mejor al cambio climático que las especialistas. En la mayoría de los casos, la persistencia puede depender de la capacidad de adaptación de una especie, que a su vez depende del tamaño y la diversidad genética de las poblaciones individuales.

Muchos factores influirán en la capacidad de una especie para adaptarse a condiciones nuevas o para migrar, incluidos los patrones de flujo genético, la distribución geográfica de la especie, la heterogeneidad del hábitat y el clima donde se encuentra la especie, y otros factores bióticos y abióticos, incluyendo si la especie es sucesionalmente temprana o tardía. Las especies de flora o fauna que tienen grandes poblaciones, alta diversidad genética, flujo génico a grandes distancias y capacidades de reproducción y dispersión naturalmente altas, pueden tener una mayor probabilidad de adaptarse o migrar a medida que se mueva su envoltura climática. En cambio, las especies o poblaciones con menor diversidad genética y baja capacidad de dispersión que se presentan en parches aislados o que se han aislado a causa de disturbios antropogénicos pueden ser menos capaces de adaptarse o migrar en respuesta al cambio climático.

La historia del paisaje también juega un papel en la probabilidad de adaptación. Por ejemplo, en algunos paisajes "antiguos, infértiles, amortiguados climáticamente" con una gran biodiversidad (o "OCBILs" sensu Hopper 2009), es muy probable que las especies hayan resistido los impactos climáticos derivados de múltiples variaciones climáticas sin glaciación. Como resultado, las especies han persistido en estos paisajes durante el tiempo geológico a través de la adaptación a fluctuaciones de humedad y temperatura. Por lo tanto, en OCBILs como Australia y el sur de África, las especies exhiben un alto nivel de pre-adaptación a los movimientos climáticos. La extinción y extirpación local de especies en los paisajes OCBIL se deben con mayor frecuencia a la fragmentación y la pérdida de hábitat. Por el contrario, en las regiones templadas muchas especies están adaptadas a la migración a larga distancia, como ocurrió después de la de-glaciación.

HERRAMIENTAS Y DIRECCIONES FUTURAS

Se están desarrollando protocolos de selección de propágulos para aumentar el potencial adaptativo de las especies en los proyectos de restauración. Las actividades de restauración para mejorar el potencial adaptativo pueden ser innecesarias en hábitats grandes e intactos debido a la alta conectividad entre las poblaciones. Las acciones para ayudar a la adaptación genética probablemente sean benéficas en paisajes fragmentados o aquéllos que probablemente se fragmentarán debido al cambio climático. Aunque el acervo genético local cumplirá un papel importante en la adaptación, puede ser prudente incluir algo de germoplasma de la misma especie en un "clima futuro" previsto —es decir, de una región con un clima similar al previsto para el área que se está restaurando. En el Cuadro A1 se dan sugerencias para la obtención de semillas de plantas de forma convencional o cuando sea adecuado un enfoque más amplio. Se anima a los investigadores a diseñar protocolos para ensayos o experimentos formales integrados en escenarios de restauración de bajo riesgo.

Hay herramientas disponibles para ayudar a los planificadores de la restauración a elaborar un análisis de **preparación climática** en la fase de planeación. Primero, se motiva a los practicantes de la restauración a buscar predicciones de los efectos del cambio climático en los ecosistemas donde

trabajan. Segundo, se les motiva a buscar más información y colaborar con los investigadores para lograr una mejor comprensión de las respuestas previstas de las especies ante la fragmentación y el cambio climático, y para identificar los riesgos relativos de las opciones relacionadas con el movimiento deliberado de material genético en proyectos de restauración. En plantas, los estudios de jardín común son clave para entender los riesgos y beneficios del movimiento de material vegetal. Tercero, las herramientas basadas en la web son cada vez más accesibles en algunos países para identificar si la especie o población que se encuentra actualmente cerca del sitio de restauración seguirá siendo apropiada para el clima que se predice que ocurra en el sitio en el futuro. En Norteamérica, la herramienta de selección de lotes de semillas (*Seedlot Selection Tool* [https://seedlot-selectiontool.org/ sst/]) ha mostrado ser muy útil para plantas y, en Australia, el sitio web del Atlas de la Vida en Australia (*Atlas of Living Australi*a [www.ala.org.au]) puede ayudar a los practicantes a identificar la distribución geográfica natural de una especie y si puede tener potencial para tolerar las condiciones que se prevé que ocurran bajo escenarios de cambio climático, que a su vez están cartografiados en el sitio web www.climatechangeinaustralia.gov.au (ver Booth et al. 2012).

Muchos proyectos de restauración ya están obteniendo semillas de plantas de procedencias más lejanas, con frecuencia considerando el cambio climático. Las estrategias de obtención de propágulos propuestas con el fin de incorporar la preparación climática en la restauración a través de asegurar la diversidad genética incluyen: procedencia local relajada (Kaye 2001); procedencia compuesta (Broadhurst et al. 2008); procedencia mezclada (Breed et al. 2013); procedencia predictiva (p.ej., Crowe y Parker 2008); y procedencia ajustada al clima (Prober et al. 2015; Fig. 6). En el Cuadro A2 se encuentran las descripciones de cada estrategia y los beneficios, riesgos y usos más adecuados. La aplicación de cualquiera de estas estrategias debería comenzar sólo cuando esté justificado y respaldado por una ciencia sólida en un marco de gestión de riesgos que considere los efectos negativos potenciales por depresión endogámica y exogámica. También debe incluir el monitoreo a largo plazo (es decir, de al menos una década) para registrar las lecciones que se compartirán con los practicantes y científicos.

Los practicantes que diseñen las listas de plantación deben tener en mente, sin embargo, que es imposible tener certeza de los cambios que ocurrirán. Las distintas especies y poblaciones responderán al cambio climático de modos diferentes y actualmente no existe una manera fácil o confiable de predecir esto. Además, la temperatura y la lluvia no son los únicos predictores importantes. Diversos factores físicos (p. ej., sustratos) y biológicos (p. ej., la dispersión) —que pueden verse afectados o no por el cambio climático— pueden tener también un papel importante en influir en la distribución de una especie. Si bien siempre se requerirá cierto nivel de precaución, un enfoque empírico de probar distintos enfoques de procedencias en muchas áreas alrededor del mundo ayudará a definir las mejores prácticas. Cada proyecto de restauración puede ser un experimento si se mantienen buenos registros y los resultados se monitorean y se comparten. Un enfoque como éste podría mejorar las prácticas de restauración en el futuro.

RESTAURAR CONECTIVIDAD Y AYUDAR A LA MIGRACIÓN

Un impacto benéfico de la restauración ecológica es el mejoramiento de la conectividad entre parches de ecosistemas nativos que permiten a las especies migrar con mayor libertad y evolucionar frente al cambio climático. Algunos investigadores han propuesto que ciertas especies necesitarán asistencia especial para migrar ("migración asistida"; Kramer y Havens 2009; Sáenz-Romero et al. 2016;

Wang et al. 2019). De hecho, muchas de las estrategias de procedencia discutidas aquí podrían considerarse una forma de migración asistida a nivel de población. Sin embargo, cuándo y dónde esto se podría garantizar es tema de intenso debate y conlleva riesgos (p. ej., hibridación con especies estrechamente relacionadas; especies volviéndose invasoras en el nuevo ambiente). El aumento de especies en los límites de sus áreas de distribución, aunque puede parecer lógico en muchos casos, también puede ser complicado, ya que las especies son raras en los límites de sus áreas de distribución por razones ecológicas que pueden ser poco comprendidas. Además, las poblaciones a lo largo de dichos límites a veces son distintas genéticamente. La introducción de germoplasma de otras poblaciones podría reducir la preparación climática o llevar a la extinción de poblaciones locales a través de la hibridación. A menudo, los límites del área de distribución son irregulares con muchos valores atípicos, una condición no bien ilustrada en muchos mapas de distribución (p. ej., mapas de presencia/ausencia en unidades políticas locales). La pregunta de cuándo llevar una especie a "latitudes superiores y elevaciones superiores" a lo largo de estos límites, o continuar apoyando a poblaciones en latitudes y elevaciones bajas en los límites de sus áreas de distribución es compleja y merece un análisis cuidadoso. Las orillas de una distribución son más vulnerables a la pérdida de una especie por el cambio climático. La longevidad, la dispersión, el sistema de reproducción y otros rasgos de las especies determinan su capacidad de adaptarse o migrar. Durante la obtención de propágulos, es importante considerar tanto el material de las procedencias adaptadas a las condiciones actuales como el de las procedencias adaptadas a las condiciones proyectadas en el futuro cercano para, con suerte, equilibrar los beneficios de la adaptación local con la capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes.

Cuadro A1

El lugar donde se encuentra una planta o animal a lo largo de un gradiente de especies y características del hábitat, puede ayudar a las decisiones sobre las fuentes de abastecimiento de propágulos (modificado de Havens et al. 2015).

MÁS CONSERVADOR/ FUENTES LOCALES DE PROPÁGULOS	CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES	MÁS FLEXIBLE/ FUENTES DE PROPÁGULOS A MAYOR DISTANCIA
Distribución limitada, incluidas las endémicas edáficas.	⟷	Ampliamente distribuidas
Incertidumbre taxonómica (potencial para especies crípticas)	⟷	Taxonomía estable (bien estudiadas)
Poco flujo génico a distancias grandes	⟷	Flujo génico extensivo en distancias grandes
MÁS CONSERVADOR/ FUENTES LOCALES DE PROPÁGULOS	**CARACTERÍSTICAS DEL HÁBITAT**	**MÁS FLEXIBLE/ FUENTES DE PROPÁGULOS A MAYOR DISTANCIA**
Fragmentado históricamente	⟷	Recientemente fragmentado
Alta calidad	⟷	Altamente degradado
Paisaje antiguo o estable	⟷	Paisaje joven o dinámico

Cuadro A2.

Tipos de fuentes de abastecimiento de propágulos, descripción, beneficios, riesgos y usos más adecuados. Modificado de Havens et al. (2015) y Breed et al. (2013).

TIPO DE ABASTECIMIENTO DE PROPÁGULOS	DESCRIPCIÓN	BENEFICIOS	RIESGOS	ES MEJOR USARLO CUANDO
Procedencia local estricta	Usar únicamente propágulos del sitio en el que se lleva a cabo la restauración o de poblaciones que se encuentran a una distancia de flujo génico normal	• bajo riesgo de adaptación incorrecta (por lo menos a corto plazo)	• base genética estrecha • posible • endogamia • deriva genética • insuficiente potencial adaptativo	• la perturbación es mínima • gran parte de la población local está presente en o adyacente al sitio de restauración • el cambio de distribución previsto es bajo
Procedencia local flexible	Mezclar propágulos de poblaciones geográficamente cercanas, enfocándose en que coincidan las condiciones ambientales de los sitios de origen y destino	• bajo riesgo de adaptación incorrecta (por lo menos a corto plazo) • evita la endogamia • aumenta el potencial de adaptación	• puede tener una base genética estrecha • insuficiente potencial adaptativo a largo plazo	• la perturbación es mínima • el cambio de distribución previsto es bajo
Procedencia combinada	Mezclar propágulos de poblaciones de distancias cercana e intermedia (o coincidencia ambiental) para imitar el flujo génico a larga distancia	• evita la endogamia • aumenta el potencial de adaptaciónl	• adaptación incorrecta • depresión exogámica	• la perturbación es mínima • la fragmentación es alta • el cambio de distribución previsto es moderado
Procedencia mixta	Mezclar propágulos procedentes de muchas poblaciones a distintas distancias a lo largo del área de distribución de las especies	• el más alto potencial de adaptación	• el mayor riesgo de adaptación incorrecta • depresión exogámica • genotipos posiblemente invasivos	• la perturbación es alta • el cambio de distribución previsto es alto
Procedencia predictiva	Usar genotipos adaptados a las condiciones pronosticadas (p. ej., proyecciones climáticas para 2050), basadas en modelos y trasplantes experimentales	• se adapta mejor a las condiciones cambiantes, si las predicciones son correctas	• las proyecciones pueden ser erróneas • requiere mucha investigación (altos costos iniciales), aunque hay herramientas que pueden ayudar	• la perturbación es de baja a moderada • el cambio de distribución previsto es alto y se conoce bien.

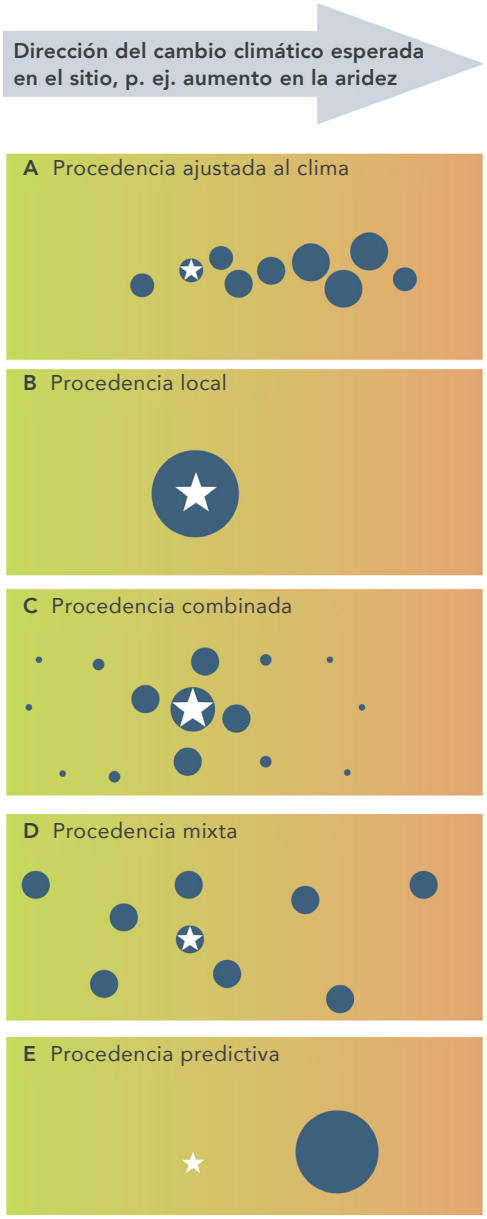
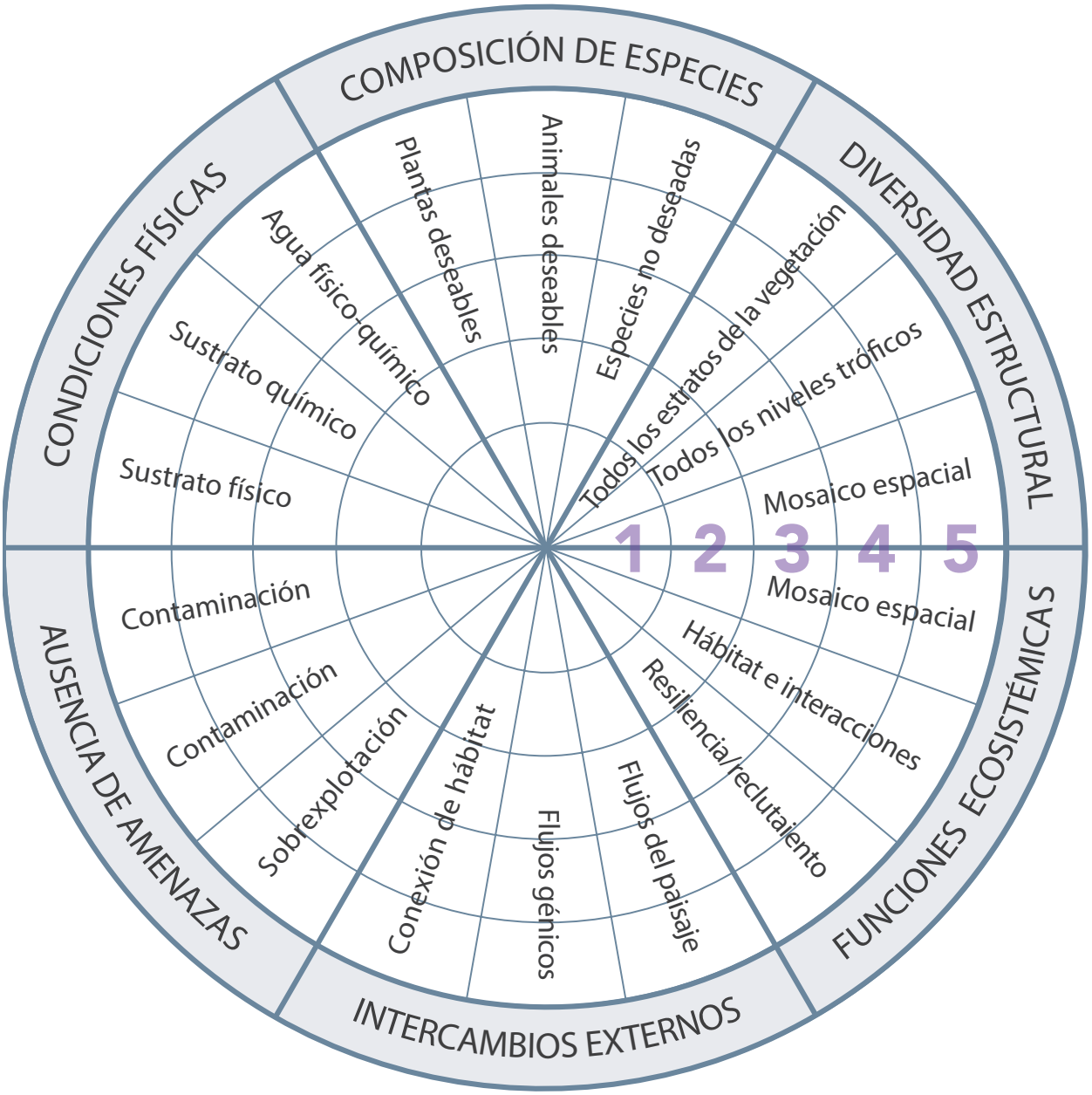


Figura A1. *Estrategias de procedencia para la revegetación (reimpreso de Prober et al. 2015). Las estrellas indican los sitios que se van a revegetar y los círculos representan a las poblaciones nativas utilizadas como fuentes de germoplasma. El tamaño del círculo indica las cantidades relativas de germoplasma incluidas de cada población en el sitio de revegetación. Tenga en cuenta que la procedencia ajustada al clima no se considera en el Cuadro A2.*

ANEXO 2: PLANTILLAS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS (para uso de los practicantes)



Tempate de rueda de recuperación

EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DEL ECOSISTEMA

Sitio_____

Evaluador_____

Fecha_____

Ecosistema de Referencia:

CATEGORÍA DEL ATRIBUTO	NIVEL DE RECUPERACIÓN (1-5)	EVIDENCIA DEL NIVEL DE RECUPERACIÓN
Atributo 1. Ausencia de amenazas		
Sobre-utilización		
Especies invasoras		
Contaminación		
Atributo 2. Condiciones del medio físico		
Condiciones físicas del sustrato		
Condiciones químicas del sustrato		
Condiciones físico-químicas del agua		
Atributo 3. Composición de especies		
Plantas deseables		
Animales deseables		
Especies no deseables		
Atributo 4. Diversidad estructural		
Todos los estratos están presentes		
Todos los niveles tróficos		
Mosaico espacial		
Atributo 5. Funcionamiento del ecosistema		
Productividad, reciclaje		
Hábitat e interacciones		
Resiliencia, reclutamiento		
Atributo 6. Intercambios externos		
Flujos en el paisaje		
Flujos génicos		
Conexión entre hábitats		

Forma de citar: Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decleer K, Dixon KW (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology* S1-S46

SER SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION

SER AUSTRALASIA SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION

The Institute for Regional Conservation