

Capítulo 29 En Resumen

Prioridades y beneficios de la restauración dentro de los paisajes y de las áreas de captación en toda la cuenca del Amazónica



Rio Parima na Terra Indígena Yanomami (Foto: Bruno Kelly/Amazônia Real)



THE AMAZON WE WANT
Science Panel for the Amazon

Prioridades y beneficios de la restauración dentro de los paisajes y de las áreas de captación en toda la cuenca del Amazónica

Jos Barlow^{a*}, Plinio Sist^{bc*}, Rafael Almeida^d, Caroline C. Arantes^e, Erika Berenguer^f, Patrick Caron^c, Francisco Cuesta^g, Carolina R. C. Doria^h, Joice Ferreiraⁱ, Alexander Flecker^j, Sebastian Heilpern^j, Michelle Kalamandeen^k, Alexander C. Lees^l, Nathália Nascimento^m, Camille Piponiotⁿ, Paulo Santos Pompeu^o, Carlos Souza^p, Judson F. Valentim^q

Mensajes claves y recomendaciones

- 1) La identificación de sitios prioritarios para la restauración ambiental de la cuenca Amazónica depende de los objetivos (por ejemplo, aumentar las reservas de carbono o conservación de las especies amenazadas). Estas regiones prioritarias deben identificarse a través de enfoques participativos en los que intervengan las poblaciones locales y los gobiernos, con el apoyo de pruebas científicas actualizadas.
- 2) Las estrategias de restauración ambiental serán más eficaces si se tienen en cuenta medidas de conservación complementarias, como la protección de los bosques primarios restantes (véase el capítulo 27).
- 3) Para tener éxito a largo plazo, las políticas y programas de restauración ambiental, deben generar beneficios socioeconómicos para las poblaciones locales (por ejemplo, seguridad alimentaria, empleo y oportunidades de ingresos), y también concientizar sobre los beneficios que proporcionan los bosques y otros sistemas naturales.
- 4) La aplicación de la restauración ambiental a escala del paisaje y de la cuenca debe tener en cuenta una amplia gama de opciones, desde el fomento de la regeneración natural de los bosques secundarios hasta el restablecimiento de las actividades económicas en las tierras degradadas. Esto ayudará a garantizar que la restauración aporte los mayores beneficios al mayor número de partes interesadas.
- 5) La restauración ambiental de los ecosistemas en el contexto del cambio climático requiere reconstruir ecosistemas más resistentes para el futuro. Por ejemplo, seleccionando especies de árboles

^a Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, UK, jos.barlow@lancaster.ac.uk

^b Agricultural Research Centre for International Development – France. CIRAD, sist@cirad.fr

^c University of Montpellier, Cirad, Umr ART-DEV, Montpellier 34398, France

^d Department of Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, USA

^e Division of Forestry and Natural Resources, 325G Percival Hall, 1145 Evansdale Drive, West Virginia University, Morgantown, WV 26506

^f Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, UK

^g Grupo de Investigación en Biodiversidad, Medio Ambiente y Salud - BIOMAS - Universidad de Las Américas (UDLA), Quito, Ecuador
^h Laboratório de Ictiologia e Pesca, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Brazil

ⁱ Embrapa Amazonia Oriental, Trav. Eneas Pinheiro, Belém, Brazil

^j Department of Natural Resources, Cornell University, 226 Mann Drive, Ithaca NY 14853, USA

^k School of Geography, University of Leeds, Leeds, UK

^l Department of Natural Sciences, Manchester Metropolitan University, UK

^m Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Instituto de Estudos Climáticos, Vitória, Espírito Santo, Brazil

ⁿ Smithsonian Conservation Biology Institute & Smithsonian Tropical Research Institute

^o Departamento de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Naturais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brazil

^p Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Trav. Dom Romualdo de Seixas 1698, Edifício Zion Business 11th Floor, Bairro Umarizal, Belém PA 66055-200, Brazil

^q Agroforestry Research Center of Acre, Embrapa Acre, Rodovia BR-364, Km 14 (Rio Branco/Porto Velho), Rio Branco AC 69900-970, Brazil

que estén más adaptadas a climas secos o ayudando a mantener los regímenes de flujo naturales en los sistemas acuáticos.

Resumen La restauración ambiental puede aplicarse en diferentes contextos Amazónicos, pero será más eficaz aprovechar los beneficios ambientales y sociales cuando éstos se prioricen dentro del paisaje y en toda la cuenca Amazónica. A continuación, se exponen las consideraciones más relevantes para planificar y ampliar la restauración ambiental en la Amazonía.

Priorización de las acciones de restauración en la cuenca Amazónica Cuando la restauración se manifiesta como una acción importante para alcanzar un objetivo concreto, el primer nivel de prioridad implica la identificación de las áreas a restaurar. En todos los ecosistemas la planificación sistemática de la conservación tiene como objetivo primero apoyar la asignación de recursos¹. Estos enfoques se han utilizado ampliamente para identificar las áreas prioritarias para la conservación o la restauración en todo el mundo^{e.g.2}, y dentro de las cuencas hidrográficas^{e.g.3,4}. Sin embargo, a pesar del creciente número de ejercicios de priorización a nivel global y de ecosistema^{2,5}, existen muy pocos análisis formales que pongan en primer lugar a la restauración en la cuenca Amazónica⁶ o que identifiquen los escenarios óptimos para alcanzar múltiples objetivos. A continuación, se describen algunos de los principales beneficios ecológicos y sociales que podrían obtenerse con un programa de restauración a gran escala en toda la cuenca.

Conservación de las especies amenazadas y los ecosistemas únicos de la Amazonía La restauración puede desempeñar un papel fundamental para apoyar la conservación de especies dependientes de los bosques más amenazados, cuyos hábitats se han visto reducidos producto de la deforestación y la degradación. La restauración puede desempeñar un papel clave en

el apoyo a la conservación de algunas de estas especies, como el paujil de Belém (*Crax [fasciolata] pinnima*⁷) en peligro crítico, el trompetista de alas negras (*Psophia obscura*) y el capuchino de Kapori (*Cebus kaapori*). La restauración a gran escala en las regiones deforestadas también podría beneficiar a las especies ampliamente distribuidas, que son motivo de preocupación para la conservación. Entre ellas se encuentran animales grandes y carismáticos, como el amenazado águila arpía (*Harpia harpyja*), el jaguar (*Panthera onca*) y el vulnerable pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*^{8,9}).

Mejora en la conectividad funcional de los sistemas fluviales Un enfoque de restauración a nivel de cuenca puede favorecer la integridad y la conectividad espacial de los sistemas fluviales^{10,11}. Las conectividades longitudinales y laterales son características centrales que organizan los flujos de energía, estructuras de las redes alimentarias y la dinámica de los nutrientes en los sistemas de aguas corrientes. Por lo tanto, restaurar los ecosistemas acuáticos para que alcancen un estado más natural implica apoyar los vínculos vitales multidimensionales que se encuentran en todas las cuencas fluviales, así como también mantener a los organismos integrados en estos sistemas. Dicha restauración debe centrarse en toda la red hidrológica, desde las cabecezas de las cuencas hasta los canales principales, ayudando a minimizar la interrupción de los flujos de sedimentos, nutrientes y organismos^{12,13}.

Beneficios climáticos globales La restauración de los bosques naturales puede desempeñar un papel importante en la mitigación del cambio climático^{14,15,16}. Por ejemplo, las 2,4 Mha de bosques secundarios de América Latina podrían acumular una reserva total de carbono sobre el suelo de 8,48 petagramos de carbono (Pg C) en 40 años¹⁴. Esto equivale a todas las emisiones de carbono derivadas del uso de combus-

tibles fósiles y procesos industriales para toda América Latina y el Caribe, desde el año 1993 hasta 2014¹⁴.

Beneficios climáticos para todo el bioma La restauración terrestre ayudará a la Amazonía a mantener su integridad hidrológica, ya que la evapotranspiración de los bosques restaurados contribuirá a la transferencia de humedad de este a oeste. Esto también podría beneficiar a los ecosistemas acuáticos, asegurando que los niveles de descarga de los ríos se mantengan en toda la cuenca e incluso la transferencia de nutrientes a las llanuras de inundación. El aumento de la humedad también ayudaría a prevenir incendios forestales, una de las principales causas de muerte a gran escala de los bosques¹⁷.

Los beneficios socioeconómicos de la restauración La restauración de los bosques y las actividades económicas sostenibles son una prioridad para algunas de las regiones más deforestadas de la Amazonía, ya que estas antiguas fronteras de deforestación incluyen varios municipios con baja puntuación en el Índice de Desarrollo Humano (IDH)¹⁸. La transformación de tierras improductivas en sistemas productivos y sostenibles de agrosilvicultura o agroforestería podría reportar numerosos beneficios económicos y sociales directos. Los efectos indirectos de la restauración, incluida la regulación climática local y regional, también podrían ser importantes para las economías locales. Por ejemplo, el mantenimiento o incluso la reducción de la duración de la estación seca podría apoyar los sistemas de doble cultivo que son vulnerables al cambio climático^{e.g.1}. Otros beneficios importantes son los bienes producidos en zonas restauradas; la mejora de la salud gracias a la mejor calidad del aire y del agua; la disminución de las temperaturas; reducción de la exposición a los desastres naturales y el mayor acceso a los sistemas naturales.

Enfoques paisajísticos y de cuenca para la restauración y la conservación Una vez que se ha identificado una región como prioritaria para la restauración, los enfoques paisajísticos y de cuenca pueden ayudar a garantizar que las acciones de recuperación sean eficaces y aporten los mayores beneficios al mayor número de partes interesadas. Los enfoques paisajísticos suelen denominarse "enfoques paisajísticos integrados", lo que refleja la necesidad de conciliar las múltiples y conflictivas demandas del uso de la tierra y ayudar a establecer paisajes multifuncionales²⁰. El término abarca una amplia gama de enfoques²¹, incluyendo la gestión integrada de cuencas hidrográficas² y la Restauración del Paisaje Forestal (FLR)²³. La FLR es promovida por las principales ONG medioambientales y por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), como también por el Mecanismo de Restauración de Bosques y Paisajes. La FLR permite a los responsables en la toma de decisiones de tener en cuenta todos los componentes de un paisaje terrestre, desde la agricultura hasta la restauración y la silvicultura, y apoyar las decisiones de sostenibilidad a largo plazo mediante la zonificación económica²⁴. También exige que se tengan en cuenta todos los ecosistemas de una región, patrocinando la restauración más allá de los bosques de Terra Firme, incluyendo los bosques inundados y las sabanas²⁵⁻²⁷. A continuación, identificamos algunos de los principales beneficios de la planificación de la restauración dentro de los paisajes y las cuencas.

Integración de los sistemas terrestres y acuáticos Los sistemas terrestres y acuáticos están inextricablemente vinculados, y considerarlos en conjunto puede aportar grandes beneficios para ambos²⁸. Además de la calidad del agua, el uso del suelo puede modificar la magnitud y la variabilidad de los caudales de los ríos. La restauración de los sistemas acuáticos suele requerir intervenciones terrestres. Por ejemplo, la mejora en la calidad, cantidad y el

estado ecológico del agua implican un conjunto de prácticas de gestión²⁹, con un pago por servicios ecosistémicos en los Andes bolivianos, que fomenta la protección de los bosques y la exclusión del ganado de los arroyos de cabecera³⁰.

Mejorar la conectividad para la biodiversidad Las especies tropicales son intrínsecamente más sensibles a la fragmentación que las especies templadas³¹. Por ejemplo, los taxones Amazónicos -incluidas muchas aves del sotobosque-, tienen una capacidad limitada para volar una decena de metros³² y son reacios incluso a cruzar pequeñas rutas³³, lo que los hace muy susceptibles a las actividades humanas que fragmentan en discretos parches el hábitat³⁴. Las especies de agua dulce también son susceptibles a los cambios en la conectividad³⁵, y el siluro migratorio del Amazonas tiene la metapoblación de peces de agua dulce más amplia del mundo³⁶. Dada esta sensibilidad, la restauración será más eficaz si logra aumentar, mantener o mejorar el hábitat y la conectividad, garantizando que ocurra la migración y que se permita el flujo de genes entre las diversas poblaciones. Para mejorar la conectividad de los hábitats de mayor calidad se pueden combinar diferentes estrategias de restauración. Sin embargo, éstas también requerirán medidas de conservación complementarias, que protejan las poblaciones y los hábitats restantes de las especies amenazadas.

Beneficios climáticos locales La restauración en las regiones deforestadas podría aportar importantes beneficios a las poblaciones locales³⁷. Por ejemplo, diferentes estudios realizados en todo el mundo revelan que el aumento de la cubierta forestal puede ayudar a disminuir los efectos de isla térmica urbana³⁸, y reducir la aparición de temperaturas excesivas en los arroyos³⁹.

Reducción del riesgo de catástrofes socioambientales Al influir en la temperatura y la humedad, la restauración del paisaje permitiría reducir el riesgo de incendios forestales. La restauración también podría

utilizarse para "amortiguar" los bordes de los bosques primarios. Estos cortafuegos verdes ayudarían a proteger los bordes de los microclimas cálidos, suprimirían las hierbas que ayudan a propagar los incendios y aislarían los bosques de las fuentes de ignición. Sin embargo, es necesario investigar para evaluar la eficacia de los cortafuegos verdes en la Amazonía y entender las anchuras ideales y las medidas de restauración (plantación de árboles o enriquecimiento), que se requieren para maximizar su eficacia y los beneficios colaterales (por ejemplo, rendimientos económicos). La restauración a escala de la cuenca también sirve para mitigar el riesgo de inundaciones, que se ven agravadas por la restauración de subcuencas de bosques ribereños. Este es probablemente uno de los mecanismos más eficaces para reducir las inundaciones, ya que la restauración del 10-15% de la cuenca reduce la magnitud máxima de las inundaciones en un 6% después de 25 años⁴¹.

Cumplir con múltiples objetivos y optimizar los beneficios La escala del paisaje o de la cuenca se considera a menudo la más adecuada para tener en cuenta con respecto a los diferentes usos del suelo, las funciones de los ecosistemas y las compensaciones, así como también para alcanzar múltiples beneficios²¹. Estos enfoques ayudan a priorizar la restauración en todo el mundo², y podrían permitir que las acciones de reparación logren una gama más amplia mientras se minimizan las pérdidas⁴². Por ejemplo, en la Amazonía, la optimización ha revelado la complementariedad entre los objetivos de biodiversidad y de almacenamiento de carbono, destacando que se pueden obtener grandes beneficios para la conservación de la biodiversidad con tan sólo pequeñas reducciones en el almacenamiento de carbono⁴³. Con tantos beneficios colaterales y potenciales de la restauración, éstos deben ser considerados como parte de un proceso de planificación integrada del paisaje y cuenca⁴⁴. Por ejemplo, la restauración pe-

riurbana destinada a proporcionar beneficios climáticos a las ciudades también podría aportar importantes ayudas socioeconómicas si los bosques proporcionan frutas y otros productos para el consumo local.

Fomentar una transición forestal más amplia La restauración también puede considerarse desde el punto de vista temporal, a través del concepto de transición forestal⁴⁵, que se refiere a los cambios en la cubierta forestal (ya sea una reducción o una expansión) en un área determinada (paisaje, región, nación) y en un periodo de tiempo. La restauración podría desempeñar un papel importante en la planificación de la transición forestal si se orienta en parte a la producción de madera, lo que aliviaría la presión sobre los bosques primarios, principales proveedores de madera de la región. En los últimos 50 años, los bosques primarios han sido talados selectivamente y 108 Mha de bosques (20% de la superficie forestal total) se explotan para la producción maderera⁴⁷. El creciente interés por la restauración de los bosques tropicales es una oportunidad única para promover la producción de madera en tierras deforestadas, ya sea mediante la plantación de especies madereras económicamente interesantes o por el enriquecimiento y la gestión de los bosques secundarios que crecen en tierras agrícolas abandonadas para la producción de madera⁴⁷.

Garantizar los beneficios sociales más amplios de la restauración La restauración existe dentro de un contexto social y, por lo tanto, produce condiciones ambientales que no sólo deben ser ecológicamente sólidas sino también económicamente viables y socialmente aceptables. Por ejemplo, casi 300 millones de personas en los trópicos viven en tierras aptas para la restauración forestal, y mil millones de personas viven a menos de 8 km de dichas tierras⁴⁸. Muchas de estas personas viven en la pobreza. Dados los retos implícitos en el restablecimiento de sistemas complejos, la restauración del paisaje y de

las cuencas hidrográficas tiene un potencial considerable para incluir a las poblaciones locales y mejorar así los medios de vida locales a largo plazo^{44,49-51}. Incluso cuando el objetivo principal de la restauración es medioambiental, se debe guiar por las expectativas y los valores culturales que influyen tanto en los objetivos como en el éxito final⁵².

Es imperativo desarrollar una gama de partes interesadas en los sectores público, privado y de la sociedad civil, creando y manteniendo coaliciones que apoyen la restauración. Cuando se hace de esta manera, la restauración puede aumentar el bienestar a través de la venta de productos forestales, con el aumento del suministro de alimentos, mejoras en la seguridad del agua y la promoción de los diversos valores culturales que la gente le otorga a los paisajes⁵³⁻⁵⁶. La restauración del paisaje también puede impactar positivamente en la tenencia y derechos sobre la tierra de muchos pueblos Indígenas, comunidades locales y propietarios. También puede incrementar los ingresos, las oportunidades de empleo y la resiliencia de las comunidades^{57,58}.

La resiliencia climática dentro de las opciones de restauración Restaurar los ecosistemas en el contexto del cambio climático requiere comprender cuándo es mejor reconstruir los del pasado y cuándo vale la pena armar ecosistemas más resilientes para el futuro⁵⁹. La determinación de cuándo son viables los objetivos históricos de referencia y cuándo deben considerarse objetivos alternativos depende del lugar y está asociado a los cambios previstos⁶⁰. Consideramos estos temas en los sistemas tanto terrestres como acuáticos.

Resiliencia climática de la restauración terrestre Los bosques primarios de la Amazonía se ven afectados por el cambio climático y los extremos de temperatura, lo que se traduce en un aumento de la mortalidad de árboles individuales^{61,62} y en cambios en la

composición de las especies⁶³ (véase también el capítulo 23). La influencia del cambio climático puede ser aún más importante para los bosques secundarios⁶⁴. Hay tres motivos principales de preocupación. El primero es espacial: los bosques secundarios se encuentran predominantemente en las zonas más secas de la Amazonía, con una mayor variabilidad estacional⁶⁵, y donde los cambios en la duración de la estación seca son más pronunciados⁶⁶. El segundo es fisiológico: en los bosques secundarios destacan los árboles de crecimiento rápido con baja densidad de madera⁶⁷ u hojas delgadas, que son especialmente vulnerables a la sequía^{61,62,68}. En tercer lugar, los bosques secundarios tienen temperaturas más altas en el sotobosque y niveles de humedad más bajos⁶⁹, lo que los hace más vulnerables a los incendios y a las condiciones microclimáticas extremas⁷⁰.

Esta mayor sensibilidad al cambio climático podría compensarse si los gradientes existentes en la intensidad de la estación seca y las precipitaciones impulsasen adaptaciones a una mayor sensibilidad a la sequía o al calor. Los bosques primarios están respondiendo al cambio climático a través de cambios en la composición de las especies⁶³, y la rápida rotación de los bosques secundarios y la alta capacidad de dispersión de las especies pioneras pueden facilitar cambios aún más rápidos en los bosques secundarios, permitiendo que en el futuro sean resistentes a las sequías^{e.g.71}. Sin embargo, también parece probable que existan barreras fisiológicas naturales que puedan limitar la cobertura forestal⁷², y se necesita más investigación para entender estos umbrales en los bosques secundarios. En los casos en que los bosques no puedan cambiar de forma natural, o en los que se desee un ritmo de cambio más acelerado, las plantaciones más enriquecedoras podrían favorecer a las especies mejor adaptadas al estrés térmico o a las estaciones secas más prolongadas, pero estas intervenciones aún no se han probado y podrían ser difíciles de aplicar a escala.

Resiliencia climática de la restauración acuática Es probable que los efectos hidrológicos del cambio climático tengan un impacto más sustancial en la Amazonía que en otras regiones de Sudamérica⁷³. Los cambios en el balance hídrico asociados al cambio climático y a la deforestación afectarán probablemente de muchas formas a los ecosistemas de las llanuras de inundación y de los ríos (véase también el capítulo 23). En los ríos, las precipitaciones y los regímenes de descarga regulan el transporte de sedimentos, la dinámica de los nutrientes acuáticos^{74,75} y la extensión de las inundaciones gobierna la entrada y el procesamiento de grandes cantidades de materia orgánica, producida en los ecosistemas terrestres y de inundación estacional^{76,77}. En el ámbito biológico, la estacionalidad de los regímenes de inundación podría afectar a las interacciones de las comunidades de plancton, con potenciales efectos en cascada en la red alimentaria⁷⁸. Por lo tanto, además de entender primero las condiciones antes que las perturbaciones, la restauración efectiva de los ecosistemas acuáticos Amazónicos debe prestar atención a las alteraciones hidrológicas, biológicas y químicas a escala de la cuenca, que probablemente se produzcan debido al cambio climático.

Lograr una restauración significativa a escala

Aquí examinamos las palancas políticas y los incentivos que pueden apoyar la restauración a gran escala que se requiere para mitigar el cambio climático, evitar peligrosos puntos de inflexión, reducir la presión sobre los bosques primarios, apoyar los medios de vida locales y desarrollar una bioeconomía Amazónica próspera y floreciente.

Ejecución Muchos han experimentado con soluciones tecnológicas y organizativas para restablecer una producción económica sostenible y respetuosa con el medio ambiente^{e.g.79}. Sin embargo, no se aplicarán a gran escala mientras no se tengan en cuenta las externalidades negativas de la explotación del

capital natural de los bosques. Por ejemplo, los bajos precios de mercado de la madera ilegal socavan el valor de la que sí es legal^{8p}, lo que hace que sea mucho más difícil -para las empresas que siguen las prácticas legales y de los sistemas de certificación-, financiar el seguimiento y la aplicación de las leyes necesarias para garantizar la integridad de los bosques después de la tala en concesiones extensas y remotas (véanse los capítulos 14, 19 y 29). Para contrarrestar esta situación es necesario introducir cambios en la política y la gobernanza (leyes, impuestos, subvenciones) para que la tala ilegal resulte económicamente poco atractiva. Las instituciones financieras ecológicas son socios clave que invierten en la restauración de la tierra y el paisaje, lo que requiere herramientas eficientes para supervisar y verificar el rendimiento medioambiental a nivel de parcelas, fincas y paisaje. El seguimiento y la ejecución son también fundamentales para evitar los efectos perversos de la restauración ecológica, cuando las tecnologías y las políticas que promueven una mayor productividad agrícola o silvícola conducen paradójicamente a un aumento en la deforestación⁸¹, o cuando la restauración ecológica a gran escala provoca una fuga de daños ambientales^{e.g.82}.

Medidas basadas en incentivos La restauración puede incentivarse mediante la compensación de carbono o biodiversidad, el pago por servicios ecosistémicos (PSA) y por los sistemas de certificación. Sin embargo, los PSA a menudo no consiguen llegar a mayor escala⁸³, y estas intervenciones basadas en el mercado pueden generar conflictos y debilitar los vínculos sociales⁸⁴. Curiosamente, políticas menos obvias pueden tener importantes efectos indirectos en la dinámica de la restauración, como por ejemplo, el programa nacional de comidas escolares en Brasil, que ha sido fundamental para fomentar la consolidación de los sistemas agroforestales y la agrobiodiversidad en algunas zonas del este de la Amazonía⁸⁵.

Restauración dirigida por la comunidad Algunas acciones de restauración a nivel de sitio pueden llevarse a cabo mediante el enlace con un conjunto relativamente pequeño de partes interesadas, como lo son los propietarios o los administradores de las reservas. Sin embargo, para lograr transformaciones sostenibles en los paisajes y las cuencas es vital que las medidas de restauración sean vistas con buenos ojos por las personas que viven ahí o que se benefician de las actividades económicas de la región. Por ejemplo, la implantación de sistemas agrícolas integrados en tierras de cultivo improductivas requiere de la participación de todas las partes interesadas, tanto en la fase de diseño como en la de ejecución. Esto garantiza que los programas de investigación y extensión satisfagan tanto las necesidades socioeconómicas como los valores culturales para los beneficiarios⁸⁶. No es de extrañar que algunos de los ejemplos más exitosos de restauración activa cuenten con una fuerte participación y liderazgo por parte de la comunidad. La Red de Semillas de Xingu y varios programas de restauración y gestión de pesquerías dirigidos por las comunidades, son ejemplos positivos de compromiso y liderazgo comunitario. El éxito de las iniciativas de restauración en lo que respecta a la participación de la población local depende de un apoyo eficaz y a largo plazo para el desarrollo de capacidades y la asistencia técnica, así como también de la colaboración y participación social amplia y continua (véase el capítulo 29).

Políticas La restauración puede apoyarse a nivel nacional mediante legislaciones y compromisos oficiales. Por ejemplo, la Ley de Protección de la Vegetación Nativa (NVPL, o Nuevo Código Forestal) establece límites de superficie forestal para las reservas legales y exige previamente que la vegetación se preserve a lo largo de los cursos de agua y en otros entornos ecológicamente sensibles, como por ejemplo las pendientes pronunciadas⁸⁷. La NVPL permite

a los propietarios de tierras compensar la tala realizada en el pasado comprando o alquilando bosques en otros lugares. Teniendo en cuenta los temas relativos a la permanencia, esto ha proporcionado un mecanismo para apoyar la restauración de las tierras agrícolas ilegales en los parques nacionales⁸⁸. La legislación nacional varía enormemente entre los países Amazónicos. Se podría fomentar el desarrollo de un conjunto de enfoques que abarquen a todos los países Amazónicos, vinculando las políticas nacionales a las numerosas declaraciones e incentivos internacionales que promueven la restauración como las declaraciones de Nueva York y Ámsterdam, Desafío de Bonn y la Iniciativa 20x20, Objetivo de Desarrollo Sostenible 15: Vida en la Tierra, Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, los compromisos de deforestación cero y la lucha contra la deforestación importada.

Conclusiones Para maximizar su impacto ecológico y social, la restauración debe aplicarse teniendo en cuenta sus beneficios a distintas escalas, incluso a nivel de bioma dentro de los paisajes y las cuencas, y entre los distintos grupos de actores locales y partes interesadas. La aplicación de los enfoques de restauración en los lugares adecuados requerirá novedosos ejercicios de priorización que consideren múltiples beneficios e incluyan la viabilidad social, la necesidad ecológica y los riesgos que plantea el cambio climático.

Referencias

1. Margules, C. R. & Pressey, R. L. Systematic conservation planning. *Nature* 405, 243–253 (2000).
2. Strassburg, B. B. N. *et al.* Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* 586, 724–729 (2020).
3. Beechie, T., Pess, G., Roni, P. & Giannico, G. Setting river restoration priorities: A review of approaches and a general protocol for identifying and prioritizing actions. *North Am. J. Fish. Manag.* 28, 891–905 (2008).
4. McIntosh, E. J., Pressey, R. L., Lloyd, S., Smith, R. J. & Grenyer, R. The impact of systematic conservation planning. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 42, 677–697 (2017).
5. Crouzeilles, R. *et al.* Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. *Conserv. Lett.* 13, e12709 (2020).
6. WePlan Forests. weplan-forests.org. (2021).
7. Alteff, E. F. *et al.* The rarest of the rare: rediscovery and status of the critically endangered Belem Curassow, *Crax fasciolata pinima* (Pelzeln, 1870). *Pap. Avulsos Zool.* 59, e20195946 (2019).
8. BirdLife International. BirdLife | Partnership for nature and people. <https://www.birdlife.org/> (2021).
9. IUCN & List Red. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/> (2020).
10. Ward, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *J. North Am. Benthol. Soc.* 8, 2–8 (1989).
11. Castello, L. & Macedo, M. N. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Glob. Chang. Biol.* 22, 990–1007 (2016).
12. Freeman, M. C., Pringle, C. M., Greathouse, E. A. & Freeman, B. J. Ecosystem-level consequences of migratory faunal depletion caused by dams. in *American Fisheries Society Symposium* vol. 35 255–266 (2003).
13. Flecker, A. S. *et al.* Migratory fishes as material and process subsidies in riverine ecosystems. in *American Fisheries Society Symposium* vol. 73 559–592 (2010).
14. Chazdon, R. L. *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Sci. Adv.* 2, e1501639 (2016).
15. Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Mitchard, E. T. A. & Koch, A. Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature* 568, 25–28 (2019).
16. Cook-Patton, S. C. *et al.* Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature* 585, 545–550 (2020).
17. Nobre, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, (2016).
18. Rodrigues, A. S. L. *et al.* Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier. *Science* 324, 1435–1437 (2009).
19. Andrea, M. C. da S., Dallacort, R., Tieppo, R. C. & Barbieri, J. D. Assessment of climate change impact on double-cropping systems. *SN Appl. Sci.* 2, 1–13 (2020).
20. Reed, J., Van Vianen, J., Deakin, E. L., Barlow, J. & Sunderland, T. Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future. *Glob. Chang. Biol.* 22, 2540–2554 (2016).
21. Reed, J., Van Vianen, J., Deakin, E. L., Barlow, J. & Sunderland, T. Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future. *Global change biology* vol. 22 2540–2554 (2016).
22. Shiferaw, B. & Rao, K. Integrated management of watersheds for agricultural diversification and sustainable livelihoods in eastern and central Africa: lessons and experiences from

- Semi-Arid South Asia. in *Proceedings of the International Workshop held at ICRISAT, Nairobi 6–7 December 2004* (2006).
23. Ianni, E. & Geneletti, D. Applying the Ecosystem Approach to Select Priority Areas for Forest Landscape Restoration in the Yungas, Northwestern Argentina. *Environ. Manage.* 46, 748–760 (2010).
 24. Celentano, D. *et al.* Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. *Land use policy* 68, 692–698 (2017).
 25. Chazdon, R. L., Gutierrez, V., Brancalion, P. H. S., Laestadius, L. & Guariguata, M. R. Co-Creating Conceptual and Working Frameworks for Implementing Forest and Landscape Restoration Based on Core Principles. *Forests* 11, 706 (2020).
 26. Ota, L. *et al.* Achieving Quality Forest and Landscape Restoration in the Tropics. *Forests* 11, 820 (2020).
 27. César, R. G. *et al.* Forest and Landscape Restoration: A Review Emphasizing Principles, Concepts, and Practices. *Land* 10, 28 (2021).
 28. Leal, C. G. *et al.* Integrated terrestrial-freshwater planning doubles conservation of tropical aquatic species. *Science* 370, 117–121 (2020).
 29. Abell, R. *et al.* Freshwater biodiversity conservation through source water protection: quantifying the potential and addressing the challenges. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 29, 1022–1038 (2019).
 30. Bottazzi, P., Wiik, E., Crespo, D. & Jones, J. P. G. Payment for environmental “self-service”: Exploring the links between Farmers’ motivation and additionality in a conservation incentive programme in the Bolivian Andes. *Ecol. Econ.* 150, 11–23 (2018).
 31. Betts, M. G. *et al.* Extinction filters mediate the global effects of habitat fragmentation on animals. *Science* 366, 1236–1239 (2019).
 32. Moore, R. P., Robinson, W. D., Lovette, I. J. & Robinson, T. R. Experimental evidence for extreme dispersal limitation in tropical forest birds. *Ecol. Lett.* 11, 960–968 (2008).
 33. Lees, A. C. & Peres, C. A. Gap-crossing movements predict species occupancy in Amazonian forest fragments. *Oikos* 118, 280–290 (2009).
 34. Lees, A. C. & Peres, C. A. Rapid avifaunal collapse along the Amazonian deforestation frontier. *Biol. Conserv.* 133, 198–211 (2006).
 35. Hurd, L. E. *et al.* Amazon floodplain fish communities: Habitat connectivity and conservation in a rapidly deteriorating environment. *Biological Conservation* vol. 195 118–127 (2016).
 36. Hurd, L. E. *et al.* Amazon floodplain fish communities: Habitat connectivity and conservation in a rapidly deteriorating environment. *Biol. Conserv.* 195, 118–127 (2016).
 37. Mendes, C. B. & Prevedello, J. A. Does habitat fragmentation affect landscape-level temperatures? A global analysis. *Landsc. Ecol.* 35, 1743–1756 (2020).
 38. Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B. & Whittaker, R. J. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends Ecol. Evol.* 23, 261–267 (2008).
 39. Hall, A., Chiu, Y. & Selker, J. S. Coupling high-resolution monitoring and modelling to verify restoration-based temperature improvements. *River Res. Appl.* 36, 1430–1441 (2020).
 40. Bradshaw, C. J. A., Sodhi, N. S., Peh, K. S. H. & Brook, B. W. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Glob. Chang. Biol.* 13, 2379–2395 (2007).
 41. Dixon, S. J., Sear, D. A., Odoni, N. A., Sykes, T. & Lane, S. N. The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surf. Process. Landforms* 41, 997–1008 (2016).
 42. Stanturf, J. A. *et al.* Forest landscape restoration as a key component of climate change mitigation and adaptation. (International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Vienna, Austria, 2015).
 43. Ferreira, J. *et al.* Carbon-focused conservation may fail to protect the most biodiverse tropical forests. *Nat. Clim. Chang.* 8, 744–749 (2018).
 44. Reed, M. S. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biol. Conserv.* 141, 2417–2431 (2008).
 45. Mather, A. S. The forest transition. *Area* 24, 367–379 (1992).
 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations & International Tropical Timber Organization. *The State of Forests in the Amazon Basin, Congo Basin and Southeast Asia.* (2011).
 47. Ngo Bieng, M. A. *et al.* Relevance of secondary tropical forest for landscape restoration. *For. Ecol. Manage.* 493, 119265 (2021).
 48. Erbaugh, J. T. *et al.* Global forest restoration and the importance of prioritizing local communities. *Nat. Ecol. Evol.* 4, 1472–1476 (2020).
 49. Palmer, M. A. *et al.* Standards for ecologically successful river restoration. *J. Appl. Ecol.* 42, 208–217 (2005).
 50. Lee, M. & Hancock, P. Restoration and Stewardship Volunteerism. in *Human Dimensions of Ecological Restoration* 23–38 (Island Press/Center for Resource Economics, 2011).
 51. Erbaugh, J. T. *et al.* Global forest restoration and the importance of prioritizing local communities. *Nat. Ecol. Evol.* 4, 1472–1476 (2020).
 52. de Bell, S., Graham, H. & White, P. C. L. Evaluating Dual Ecological and Well-Being Benefits from an Urban Restoration Project. *Sustainability* 12, 695 (2020).
 53. Aronson, J. & Alexander, S. Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll up our Sleeves. *Restor. Ecol.* 21, 293–296 (2013).
 54. Sabogal, C., Besacier, C. & McGuire, D. Forest and landscape restoration: Concepts, approaches and challenges for implementation. *Unasylva* 66, 3 (2015).
 55. Stanturf, J. A. *et al.* Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach. *Ann. For.*

- Sci.* 76, 1–21 (2019).
56. Viani, R. A. G. *et al.* Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Trop. Conserv. Sci.* 10, 1940082917697265 (2017).
57. Adams, C., Rodrigues, S. T., Calmon, M. & Kumar, C. Impacts of large-scale forest restoration on socioeconomic status and local livelihoods: what we know and do not know. *Biotropica* vol. 48 731–744 (2016).
58. Erbaugh, J. T. & Oldekop, J. A. Forest landscape restoration for livelihoods and well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability* vol. 32 76–83 (2018).
59. Harris, J. A., Hobbs, R. J., Higgs, E. & Aronson, J. Ecological restoration and global climate change. (2006).
60. Jackson, S. T. & Hobbs, R. J. Ecological restoration in the light of ecological history. *Science* 325, 567–569 (2009).
61. Phillips, O. L. *et al.* Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science* 323, 1344–1347 (2009).
62. McDowell, N. *et al.* Drivers and mechanisms of tree mortality in moist tropical forests. *New Phytol.* 219, 851–869 (2018).
63. Esquivel-Muelbert, A. *et al.* Compositional response of Amazon forests to climate change. *Glob. Chang. Biol.* 25, 39–56 (2019).
64. Elias, F. *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in highly deforested Amazonian landscapes. *Ecology* 101, (2020).
65. Smith, C. C. *et al.* Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated carbon emissions in the Brazilian Amazon. *Glob. Chang. Biol.* 26, 7006–7020 (2020).
66. Fu, R. *et al.* Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 18110–18115 (2013).
67. Berenguer, E. *et al.* Seeing the woods through the saplings: Using wood density to assess the recovery of human-modified Amazonian forests. *J. Ecol.* 106, 2190–2203 (2018).
68. Aleixo, I. *et al.* Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. *Nat. Clim. Chang.* 9, 384–388 (2019).
69. Ray, D., Nepstad, D. & Moutinho, P. Micrometeorological and canopy controls of flammability in mature and disturbed forests in an east-central Amazon landscape. *Ecol. Appl.* 15, 2 (2005).
70. Uriarte, M. *et al.* Impacts of climate variability on tree demography in second growth tropical forests: the importance of regional context for predicting successional trajectories. *Biotropica* 48, 780–797 (2016).
71. Lohbeck, M. *et al.* Successional changes in functional composition contrast for dry and wet tropical forest. *Ecology* 94, 1211–1216 (2013).
72. Sullivan, M. J. P. *et al.* Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science* 368, 869–874 (2020).
73. Brêda, J. P. L. F. *et al.* Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections. *Clim. Change* 159, 503–522 (2020).
74. Devol, A. H., Forsberg, B. R., Richey, J. E. & Pimentel, T. P. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimoes) River: A multiyear time series. *Global Biogeochem. Cycles* 9, 307–328 (1995).
75. Almeida, R. M. *et al.* Phosphorus transport by the largest Amazon tributary (Madeira River, Brazil) and its sensitivity to precipitation and damming. *Inl. Waters* 5, 275–282 (2015).
76. Abril, G. *et al.* Amazon River carbon dioxide outgassing fuelled by wetlands. *Nature* 505, 395–398 (2014).
77. Almeida, C. T., Oliveira-Júnior, J. F., Delgado, R. C., Cubo, P. & Ramos, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *Int. J. Climatol.* 37, 2013–2026 (2017).
78. Feitosa, I. B. *et al.* Plankton community interactions in an Amazonian floodplain lake, from bacteria to zooplankton. *Hydrobiologia* 831, 55–70 (2019).
79. Brondizio, E. S. *et al.* Making place-based sustainability initiatives visible in the Brazilian Amazon. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 49, 66–78 (2021).
80. Brancalion, P. H. S. *et al.* Fake legal logging in the Brazilian Amazon. *Sci. Adv.* 4, eaat1192 (2018).
81. Garrett, R. D. *et al.* Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. *Glob. Environ. Chang.* 53, 233–243 (2018).
82. Alix-Garcia, J. & Gibbs, H. K. Forest conservation effects of Brazil's zero deforestation cattle agreements undermined by leakage. *Glob. Environ. Chang.* 47, 201–217 (2017).
83. Coudel, E. *et al.* The rise of PES in Brazil: from pilot projects to public policies. in *Handbook of Ecological Economics* (Edward Elgar Publishing, 2015).
84. Pokorny, B., Johnson, J., Medina, G. & Hoch, L. Market-based conservation of the Amazonian forests: Revisiting win-win expectations. *Geoforum* 43, 387–401 (2012).
85. L. Resque, A. *et al.* Agrobiodiversity and Public Food Procurement Programs in Brazil: Influence of Local Stakeholders in Configuring Green Mediated Markets. *Sustainability* 11, 1425 (2019).
86. Garrett, R. D. *et al.* Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecol. Soc.* 25, art24 (2020).
87. Brasil. Lei 12.641, de 25 de maio de 2012. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm (2012).
88. Giannichi, M. L. *et al.* Divergent Landowners' Expectations May Hinder the Uptake of a Forest Certificate Trading Scheme. *Conserv. Lett.* 11, e12409 (2018).