



Fotografía: ALEX_UGALEK / Shutterstock

Conectividad ecológica: un puente para preservar la biodiversidad

Reconexión de ecosistemas fragmentados

Hubo un tiempo en que la naturaleza era inmensa e infinita, pero en el mundo industrializado del siglo **XXI** eso ya no ocurre. En todo el planeta, los paisajes terrestres y marinos se están fragmentando. La vida silvestre goza de menor libertad de movimientos, y los ríos de caudal libre son cada vez más excepcionales. A lo largo del litoral tropical, la línea de manglares, praderas submarinas y arrecifes de coral, antes continua, está hoy más fracturada, lo que merma la productividad esencial y la resiliencia de los ecosistemas frente a las perturbaciones naturales y antropógenas¹. Una de las consecuencias de la segmentación de los paisajes naturales es que los mamíferos y otras especies se desplazan menos de la mitad de la distancia que solían recorrer². Esta capacidad limitada para migrar, dispersarse, aparearse, alimentarse y prosperar hace que los animales silvestres se vean acorralados en situaciones en que la amenaza de la extinción se hace cada vez más patente.

La fragmentación suele ser un síntoma de la transformación y destrucción del paisaje. La división del hábitat en fragmentos acarrea tres efectos concretos: la reducción de la superficie y la calidad generales del hábitat, el mayor aislamiento de las parcelas de hábitat y el aumento de las perturbaciones relacionadas con los límites artificiales de los fragmentos de hábitat, o «efectos de borde»³⁻⁶. Las parcelas de hábitat aisladas y de menor tamaño acogen a menos especies con poblaciones más pequeñas, y la interacción entre las distintas parcelas es escasa. El mayor número de bordes entre fragmentos expone a las poblaciones que habitan la parcela a perturbaciones externas en los lindes. A la larga, cuando una parcela acaba siendo demasiado pequeña y aislada, deja de ser posible sostener poblaciones viables y la riqueza de especies⁵. La fragmentación provoca en última instancia una espiral descendente de disfunciones ecológicas, desde el desmantelamiento de las redes alimentarias o la pérdida de procesos ecológicos fundamentales, como los flujos de minerales y nutrientes, hasta la extinción directa de especies^{3,5,7-9}.

Mantener o restaurar la conectividad entre hábitats fragmentados o parcelas se ha señalado como la clave para contrarrestar muchas de las consecuencias negativas de la fragmentación¹⁰. La conectividad puede definirse como la medida en que los paisajes terrestres y marinos permiten que las especies se muevan libremente y que los procesos ecológicos se desarrollen sin trabas. Las pruebas científicas recogidas en estudios biogeográficos de islas y estudios sobre metapoblaciones de especies demuestran de forma abrumadora que los hábitats conectados preservan con más eficacia las especies y las funciones ecológicas^{11,12}. Las comunidades ecológicas y parcelas de hábitat conectadas sostienen procesos ecológicos esenciales como la polinización, la productividad, la descomposición y los ciclos bioquímicos y de nutrientes. Asimismo, la conectividad ecológica puede contribuir a que las especies se adapten a futuras condiciones ambientales y amortigüen los cambios, al aumentar la resiliencia ecológica frente a amenazas perturbadoras como el cambio climático¹³.

Pese a sus ventajas evidentes, en este momento las naciones del mundo carecen de un enfoque sistemático para implementar la conservación de la conectividad. ¿Cuáles son las mejores medidas para evaluar los resultados de la conservación de la conectividad? ¿Cómo crean corredores, diseñan redes ecológicas o determinan la eficacia de las medidas para la conservación de la conectividad los Gobiernos y los ecologistas? Conservar intactos los paisajes terrestres y marinos es viable mediante el diseño de más zonas protegidas, o de mayor escala, pero para ello es necesario tomar decisiones políticas, sociales y económicas difíciles^{14,15}. La conectividad como meta de conservación exige que las partes interesadas establezcan objetivos comunes que garanticen un planteamiento pluridimensional y la posibilidad de poner en práctica una acción coordinada. Para obtener resultados eficaces se precisa la colaboración entre los sectores público y privado. Poner freno a la pérdida de biodiversidad y reducir los efectos sobre los ecosistemas es responsabilidad de todos los sectores, desde el ámbito comunitario al internacional. En muchos casos, en el marco más amplio de las iniciativas en aras de la conservación pueden incorporarse aspectos socioeconómicos.



Profusión y abundancia de especies e interacción entre ellas



Variabilidad genética y flujo genético



Movimiento y dispersión

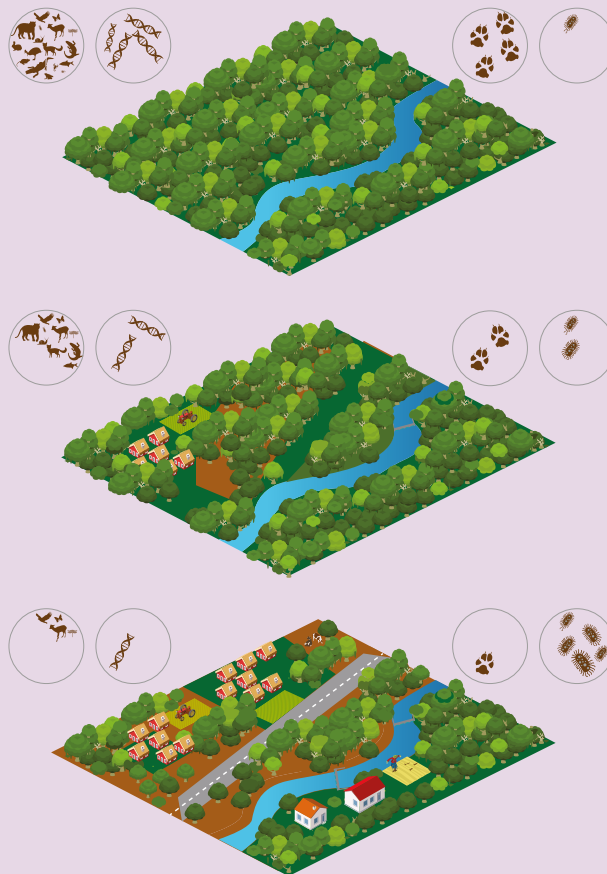


Riesgo de aparición de zoonosis, brotes y exposición del ser humano a enfermedades



Fragmentación del hábitat

Alrededor del 40% de los ecosistemas terrestres se han convertido en paisajes agrícolas¹⁶. La transformación de las tierras y los ríos para usos humanos propicia la fragmentación del hábitat. En los fragmentos de hábitat más pequeños y aislados rodeados de actividad humana resulta menos probable que se mantenga su función y que sobrevivan los animales y plantas que los habitan. La fragmentación del hábitat afecta negativamente a la abundancia, la distribución, el movimiento, la profusión de especies y la interacción entre ellas, la reproducción y la diversidad genética⁵. Asimismo, reduce la capacidad de las especies para adaptarse a nuevas condiciones climáticas¹⁷.



Las fuerzas de fragmentación

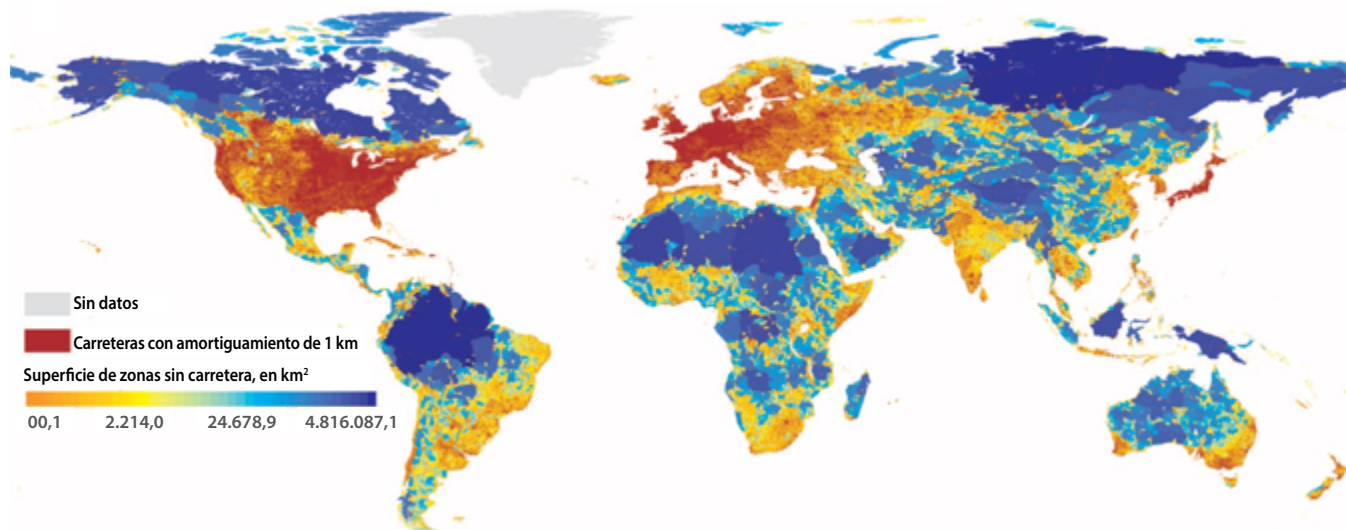
Las sociedades están transformando la biosfera de la Tierra y reestructurando su ecología de formas nunca vistas. Los últimos estudios indican que más del 75% de la superficie terrestre del planeta ha sido modificada por la humanidad¹⁸⁻²¹. Las presiones de la población humana, la urbanización en auge, la expansión agrícola, la contaminación y el desarrollo de infraestructura actúan de forma sinérgica como fuerzas de fragmentación. Según algunas proyecciones sobre el uso de la tierra, es posible que para 2050 se hayan desbrozado unos mil millones de hectáreas de terreno tropical específicamente con fines agrícolas²². El entorno marino es todavía menos inmune a esa tendencia: nuevos estudios señalan que, de los océanos del mundo, tan solo el 13%, aproximadamente, se clasifica todavía como zona marina en estado natural, mucho menos de lo que esperaban numerosos ecologistas²³.

La infraestructura lineal es a menudo la punta de lanza del desarrollo moderno. Carreteras, vías férreas, tuberías, cercas y canales se construyen a un ritmo sin precedentes, sobre todo en las regiones remotas, antes sin desarrollar, de los trópicos. Se prevé que el 90% de las nuevas construcciones de carreteras tengan lugar en naciones en desarrollo²⁴. En la India, donde vive casi el 60% de la

población de tigres del mundo, corredores fundamentales para ese animal se ven amenazados por los planes para construir 4.300 km de carreteras nacionales y estatales²⁵. A escala mundial, se prevé la construcción de más de 25 millones de kilómetros de carretera de aquí a 2050 —lo que supone aumentar en un 60% la longitud de las carreteras existentes en 2010—²⁶.

Los ríos de caudal libre, sustento ecológico de los paisajes y estuarios, están amenazados por la fragmentación resultante del tamaño y la escala de la construcción en curso de presas. Grandes presas dividen el 59% de los ríos del mundo, con lo que se altera la corriente natural del 93% del caudal mundial; además, se considera que casi el 28% está sometido a una regulación gravosa o severa²⁷. Solo en la cuenca del Amazonas se están desarrollando, construyendo o planificando en este momento más de 400 proyectos de presas²⁸. En conjunto, la construcción de presas y carreteras y la deforestación merman la integridad ecológica de las cuencas fluviales continentales, lo cual tiene consecuencias reales en otras actividades económicas y lúdicas del ser humano. Por ejemplo, la conectividad del agua dulce aporta alrededor de 200 millones de dólares de los Estados Unidos anuales a la economía pesquera de la cuenca del Amazonas, que da trabajo a unos 200.000 pescadores²⁹.

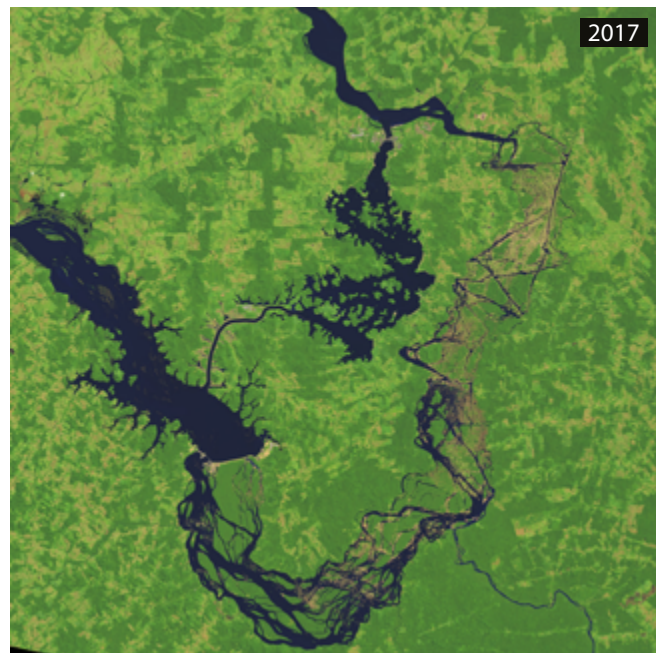
Fragmentación del paisaje a causa de las carreteras



Al analizar un conjunto de datos sobre 36 millones de kilómetros de carretera en todo el mundo se observa que las carreteras han dividido el paisaje terrestre en más de 600.000 parcelas. Más de la mitad de esas parcelas se encuentran a menos de un kilómetro de una carretera (en color rojo). En tonos azules se muestran las parcelas alejadas de las carreteras y menos afectadas por estas.

Fuente: Ibisch et al. (2016)³⁰

El río Xingú, en el norte de Brasil, en 2000 y 2017



El proyecto de construcción de la presa hidroeléctrica de Belo Monte en 2011 ha reconfigurado por completo el río Xingú. Más del 80% del caudal del río ha sido desviado, de modo que amplias zonas se han secado (en color naranja o marrón), lo que ha afectado de forma directa a las comunidades indígenas y la vida silvestre de la zona.

Fotografía: Joshua Stevens / NASA Earth Observatory

Los ríos, los paisajes terrestres y los litorales están ligados de forma inextricable. La conectividad también hace patente que la naturaleza funciona como una suma integrada de sus partes. La conectividad entre los sistemas acuáticos y terrestres resulta fundamental para la integridad ecológica, pero demasiado a menudo esos elementos se gestionan de manera independiente. En los ecosistemas templados, por ejemplo, las investigaciones han demostrado que la huella de las llanuras aluviales de los ríos con lecho de grava se extiende mucho más allá de las zonas ribereñas. Esto repercute en los proyectos de ecología terrestre subsuperficial que se desarrollan fuera de los canales fluviales visibles y sus deltas, acercándose más al ámbito marino. Los sistemas fluviales de caudal libre conectan a las comunidades acuáticas, aviarias y terrestres —desde los microbios hasta el oso gris— y al mismo tiempo ejercen influencia en la biogeoquímica de los paisajes terrestres y marinos³⁰.



Vídeo: Diseminación de semillas y fragmentación de los bosques



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=0m6AJWZ2p8I>

Fotografía: Jess Kraft / Shutterstock

© HHMI BioInteractive

Fragmentación y conectividad del paisaje

La **fragmentación del paisaje** consiste en la subdivisión de grandes hábitats continuos en fragmentos o parcelas más pequeños y aislados.

La **conectividad del paisaje** es la medida en que un paisaje concreto posibilita el desplazamiento de los animales y otras corrientes ecológicas.

A medida que el clima se calienta, mantener la conectividad entre zonas de temperaturas diferentes permitiría que los organismos se desplazaran por los gradientes de temperatura, lo que posibilitaría la adaptación de las especies

Los **espacios bien conectados** permiten que las especies migren a nuevos hábitats, en especial cuando necesitan **adaptarse al cambio climático**



La **fragmentación de los ríos** se debe fundamentalmente a las **presas y los embalses**, que desconectan los ecosistemas de subida y de bajada, lo que dificulta la dispersión y la migración de especies, así como el transporte de materia orgánica e inorgánica

En todo el mundo está prevista la construcción de más de **3.700 presas hidroeléctricas**

Las **carreteras modifican la conducta** de determinadas especies. Varios estudios han descubierto que animales como el erizo, la serpiente de cascabel, la tortuga, la ardilla roja y el caracol evitan cruzar las carreteras.

La **infraestructura de transporte**, por ejemplo las **carreteras** y las **vías férreas**, alteran el desplazamiento de la vida silvestre

Factores como la **anchura de las carreteras**, la intensidad del tráfico y la **curvatura** influyen en el número de especies que mueren por su causa

Se ha descubierto que la fragmentación del hábitat provoca una **reducción del número de depredadores apicales**

Un estudio mundial concluyó que **177 especies de mamíferos** habían perdido más del **30%** de su alcance geográfico, y más del **40%** de esas especies habían sufrido un acusado descenso de población

La **conectividad entre tierra y mar** abarca la migración biológica, el ciclo hidrológico, el transporte de nutrientes y otros procesos climáticos esenciales para los ecosistemas costeros y mundiales

La conectividad favorece las interacciones **entre la flora y la fauna**, como la polinización y la diseminación de semillas. En las zonas más conectadas, las plantas producen más fruto.



En 2030, casi el **40%** de los ríos del mundo estarán **gravemente fragmentados**

Las **prácticas de la silvicultura moderna** degradan la conectividad de los paisajes

Un importante estudio del Amazonas concluyó que la mejor manera de protegerlo de la actividad humana y garantizar su resiliencia frente al cambio climático sería crear **reservas naturales muy extensas y conectadas**

El **59%** de las **cuenas fluviales del mundo albergan grandes presas**, cifra que se elevará hasta el **75%** de aquí a 2030

Los **corredores ecológicos** son franjas de vegetación que conectan parcelas de hábitat y facilitan así el desplazamiento de la flora y la fauna

Las **parcelas intermedias** son parcelas relativamente pequeñas de vegetación autóctona diseminadas en el paisaje para promover el desplazamiento de las especies y su dispersión a larga distancia

Gracias a las parcelas intermedias, las especies pueden moverse entre hábitats aislados y colonizar nuevos hábitats

Crear **corredores entre las reservas naturales** facilita la conectividad de los hábitats, lo que a su vez favorece la profusión de especies en las reservas

En el Brasil, un estudio de especies aviarias sumamente sensibles observó que los **bosques más conectados** albergan a más especies de aves que los menos conectados

Los **hábitats marinos bien conectados** son más resilientes frente al cambio climático

La conectividad es esencial para los organismos de las **aguas costeras poco profundas tropicales y subtropicales**, que dependen de la migración entre los arrecifes de coral, los manglares, los estuarios y los ecosistemas de las cuencas bajas

En la Bahía de Moreton, en Australia, un estudio de los **arrecifes de coral** concluyó que las parcelas **mejor conectadas con los manglares** albergaban a una mayor diversidad de especies que aquellas que estaban aisladas de los manglares

Promoción de soluciones de conectividad

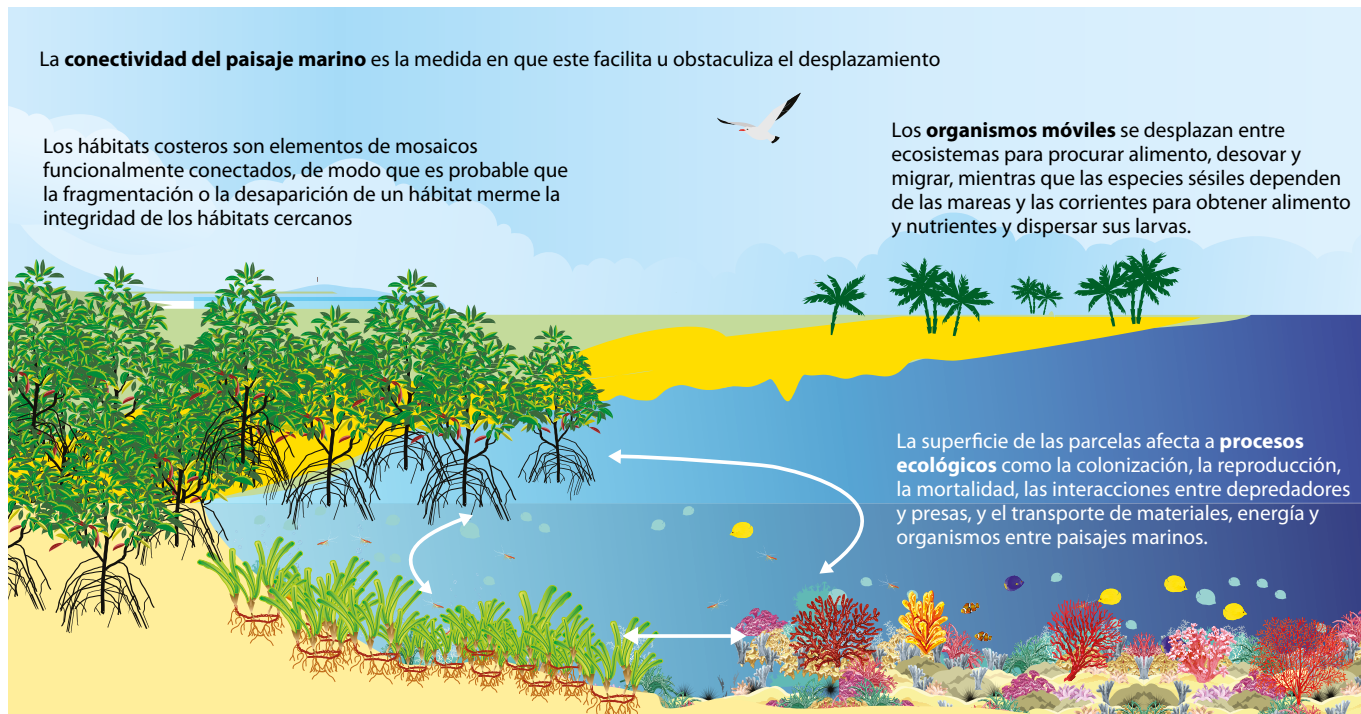
La conservación de la conectividad es el antídoto contra la fragmentación. En un momento en que las amenazas a la naturaleza han adquirido una envergadura que pone a prueba la capacidad de respuesta tanto humana como financiera, algunos países están empezando a implementar iniciativas. En el Brasil, la conservación de la conectividad rige las ambiciosas medidas adoptadas por el país para restaurar vínculos viables entre los fragmentados hábitats de la pluviselva atlántica conocida como «Mata Atlántica». Algunas especies en peligro han atraído el interés de proyectos de restauración dirigidos a conectar poblaciones aisladas, por ejemplo la del tamarino león dorado. Se ha demostrado que las iniciativas específicas de restauración reducen los índices de extinción de especies en bloques de bosque antes fragmentados³². La conectividad es ya un objetivo expreso de varias políticas del Brasil en aras de la biodiversidad. La ley Forestal y la ley de Protección de la Vegetación Nativa del Brasil destacan expresamente la conectividad como estrategia fundamental para la restauración del paisaje y la conservación de los hábitats^{33,34}.

Por su parte, el Gobierno de El Salvador propuso recientemente que el período comprendido entre 2021 y 2030 sea declarado «Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas», con el propósito de restaurar e impulsar la conectividad de los paisajes y las funciones ecológicas.

En África, el Gobierno de Tanzania aprobó hace poco una nueva ley de Conservación de la Vida Silvestre que hace hincapié en la necesidad de impulsar la conservación de los corredores ecológicos entre las zonas protegidas. En Kenya, donde la mayoría de la vida silvestre se encuentra fuera de las zonas protegidas y cuya planificación en los condados acaba de comenzar, el Servicio de Fauna y Flora de Kenya ha catalogado sistemáticamente los principales corredores y zonas de dispersión de la vida silvestre y ha elaborado una política nacional sobre los corredores ecológicos³⁵.

En el medio marino mundial, la conectividad funciona en tres dimensiones, pues la columna de agua suma otra variable a la ecología del desplazamiento. En ese sentido, el propio mar es un medio de conexión. Así pues, la conectividad marina se manifiesta de formas diversas en las conexiones entre el mar y la costa, las

Conectividad del paisaje marino



interacciones entre la superficie y el fondo marino, y en el marco de la dinámica de las mareas oceánicas³⁶. Resulta casi imposible que las áreas marinas protegidas, piedra angular de la conservación del océano, funcionen como elementos ecológicos aislados en este entorno altamente conectado. Por tanto, el mar favorece la creación de redes ecológicas que conectan hábitats esenciales en el espacio y en el tiempo. Además, la compleja historia de vida de numerosas especies marinas ha evolucionado paralelamente a las dinámicas de desplazamiento de este mundo líquido. Es sabido que las praderas submarinas y los manglares constituyen hábitats de cría para numerosas especies marinas que a menudo deben desplazarse posteriormente hasta los arrecifes de coral, los montes submarinos u otras aguas para madurar. La conectividad del paisaje marino se subraya como principio rector fundamental en la conservación del medio marino y la planificación espacial, así como en las iniciativas de restauración; no obstante, en la práctica pocas veces se incorpora al diseño de las redes de reservas marinas³⁶⁻³⁹. Ello se debe fundamentalmente a la escasez de datos cuantitativos sobre los diversos aspectos de la conectividad de los que se dispone en la fase de diseño, por ejemplo acerca de los patrones de dispersión y desplazamiento de las especies principales en diferentes etapas de su vida, sobre la conectividad ecológica en las reservas y fuera de ellas —y entre los distintos tipos de hábitats— y en relación con la conectividad genética entre poblaciones^{10,38-40}. Sin embargo, cabe mencionar que los estudios sobre las interacciones entre la conectividad y el desempeño de las reservas marinas en el Caribe, los Cayos de Florida, las islas Salomón, la Bahía de Moreton y la Gran Barrera de Arrecifes de Australia demuestran la importancia ecológica de una mayor conectividad. En esas áreas protegidas se observaron efectos positivos en la abundancia de peces, la profusión y composición de especies, el reclutamiento y diversos procesos ecológicos^{10,41-44}.

La comunidad internacional ha hecho esfuerzos para promover soluciones de conectividad. En 2016, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) puso en marcha el Grupo de Especialistas en la Conservación de la Conectividad con ánimo de movilizar y vigorizar la práctica en auge de la conservación de la conectividad. Con alrededor de 900 miembros de 80 países, el Grupo se dedica a desarrollar la capacidad para la práctica de una conservación sistemática de la conectividad en todo el mundo mediante la creación de redes y la provisión de orientación gracias a la combinación de conocimientos científicos, de ingeniería y sobre políticas.

▶ Vídeo: ¿Qué es la conectividad marina?



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=MowPR5GYqKM>
Fotografía: Damsea / Shutterstock

© Ifremer

▶ Vídeo: Entre bastidores: la migración del cangrejo rojo (Isla de Navidad, 2012)



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=n9yJ51LQ0sI>
Fotografía: David Stanley

© Parks Australia

Fijar metas para la conectividad del futuro

Las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica, adoptadas por el Convenio sobre la Diversidad Biológica en el marco de la implementación del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, abarcan la conectividad del paisaje terrestre y marino. La Meta de Aichi para la Diversidad Biológica número 11 establece que al menos el 17% de las zonas terrestres y las aguas continentales, y el 10% de las zonas costeras y marinas deben protegerse en todo el mundo por medio de un sistema bien conectado de áreas protegidas. Sin embargo, muchos científicos consideran que la conservación de la biodiversidad actual merece un objetivo más ambicioso^{45,46}. La comunidad científica dedicada a la conservación señala que, como término medio, debe gestionarse el 50% de todas las tierras y mares para sostener los procesos ecológicos que mantienen la naturaleza y los umbrales críticos de salud del planeta, incluidos los servicios de los ecosistemas en los que se sustentan los medios de vida humanos^{4,14,15}. En numerosas zonas de importancia ecológica mundial, los científicos justifican, y los políticos respaldan, una meta más ambiciosa. Por ejemplo, en la cuenca del Amazonas se requiere mayor protección para sostener las funciones ideológicas y climáticas regionales y mundiales de esta enorme cuenca de drenaje. Si el Amazonas perdiera más del 20% de sus bosques, los modelos predicen una inversión de los umbrales que daría pie a condiciones más propicias para la sabana tropical que para los bosques, lo que repercutiría en los patrones climáticos mundiales⁴⁷. Al implementar las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica, el Gobierno del Brasil se mostró más ambicioso con vistas a proteger el 30% del Amazonas y, al mismo tiempo, velar por que otros biomas de su territorio cumplan por separado el 17% de la meta de Aichi⁴⁸. El próximo plan estratégico decenal del CDB, correspondiente al período 2021-2030, se negociará en China en octubre de 2020. La comunidad en favor de la conservación se muestra entusiasmada ante la posibilidad de que los objetivos establecidos en la Meta 11 puedan dotarse de mayor ambición y armonizarse con el objetivo «El 50% para la naturaleza» en el año 2050.

Si bien se han dedicado muchos esfuerzos a cumplir los porcentajes de protección de tierras, agua dulce y mares, también se reconoce que se podría hacer más sobre el factor modificador que representa un sistema bien conectado de zonas protegidas, así como sobre otras medidas eficaces de conservación aplicables en zonas determinadas. Los datos científicos demuestran de forma inequívoca que las zonas protegidas conectadas dan mejores resultados^{49,50}. Conectar paisajes terrestres y marinos fragmentados mediante redes ecológicas puede resultar eficaz para mejorar la funcionalidad de la naturaleza e impulsar enfoques más ambiciosos de conservación.



Los **corredores ecológicos** son una estrategia de conectividad para proteger la migración de las especies que goza de gran aceptación. A menudo los corredores se diseñan para una especie en concreto, como el antílope americano en América del Norte, el tigre en Asia y el jaguar en América del Sur. Los corredores adoptan un sinfín de formas y tamaños en función de la especie de interés y de las limitaciones del paisaje, desde discretos senderos lineales hasta series de parcelas de hábitat intermedias que facilitan la migración de aves o tortugas marinas.

Las **zonas de conexión** son áreas de paisajes terrestres o marinos más amplias que mantienen la conectividad en beneficio de un amplio conjunto de especies y procesos ecológicos. Esas zonas comprenden grandes franjas de tierra o mar que facilitan la dispersión en las zonas protegidas, un aspecto fundamental en lugares como África Oriental, donde la inmensa mayoría de la vida silvestre se encuentra fuera de las zonas protegidas. Las zonas de conexión también facilitan el desplazamiento de los animales, la biomasa y la energía entre las parcelas de hábitat o entre distintos ecosistemas de las zonas protegidas.

Las **zonas de permeabilidad** son el concepto de mayor escala utilizado por los ecólogos para proteger los valores de la conectividad en las regiones dominadas por el ser humano fuera de las zonas protegidas. Satisfacen las necesidades estacionales o el alcance espacial del desplazamiento de las especies y procesos ecológicos como las charcas temporales o determinadas corrientes hidrológicas de agua dulce.

Los científicos han propuesto la creación de **corredores climáticos** con ánimo de preservar los desplazamientos de las especies en función de los gradientes de temperatura; además, esos corredores a menudo se convierten en «refugios climáticos»⁵¹. Algunas iniciativas para la conservación de la conectividad incluyen expresamente entre sus objetivos la resiliencia al clima, por ejemplo la iniciativa Great Eastern Ranges, en Australia⁵².

En este momento, el 14,7% del suelo está cubierto por zonas protegidas, y menos de la mitad de estas están conectadas⁵⁰. De este dato cabe deducir que todavía hay mucho margen para mejorar la conectividad entre las áreas protegidas del planeta. Si el mundo desea adoptar medidas rápidas a gran escala en favor de la conservación, conectar las zonas protegidas por medio de redes ecológicas ofrece perspectivas esperanzadoras.

La aplicación de la conservación de la conectividad es todavía relativamente incipiente en el marco más amplio de la práctica de la conservación, y queda mucho que aprender para perfeccionar las mejores prácticas^{53,54}. Al tratarse de una práctica nueva, la conservación de la conectividad ecológica se topa con sus mayores retos de implementación fuera de las zonas protegidas. Una de las necesidades primordiales es, sin duda, limitar los efectos de las fuerzas de fragmentación, tales como el desarrollo de infraestructura lineal. Igualmente importante resulta concienciar a los encargados de formular políticas, los organismos gubernamentales y las partes interesadas de las comunidades locales sobre la importancia de la conectividad ecológica. Aunque algunos países podrían aprobar medidas regulatorias para conservar la conectividad, la inmensa mayoría de las iniciativas en favor de la conectividad ecológica dependerán de enfoques de conservación participativos basados en incentivos⁵⁵. Adaptar las políticas ambientales vigentes podría facilitar la adopción de la conservación de la conectividad mediante la inclusión de metas de conectividad en las evaluaciones de impacto ambiental y en diversos programas de financiación e incentivos fiscales de la conservación.

Las zonas protegidas no pueden salvar por sí solas la biodiversidad ni conservar las funciones ecológicas interconectadas que sostienen la vida en el planeta. La conectividad es la encarnación de la ecología, que es la ciencia de la interdependencia. Se trata de un aspecto imprescindible, pues las tierras, el agua dulce y los mares interconectados son el sustento de la naturaleza intacta. Por consiguiente, las redes conectadas ofrecen la mejor oportunidad para mantener y restaurar los procesos ecológicos y evolutivos, evitar extinciones y proteger los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos que son esenciales para la humanidad y para la vida en general. La conectividad podría garantizar la resiliencia de los ecosistemas del mundo, facilitar su adaptación al cambio global y preservar su capacidad para sostener la integridad ecológica que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes y futuras. Hasta que se superen las fuerzas de fragmentación, con el diseño de la conservación de la conectividad se crea una red de seguridad para la conservación de la biodiversidad y, en última instancia, de la humanidad.

Parcelas intermedias y lugares de cruce

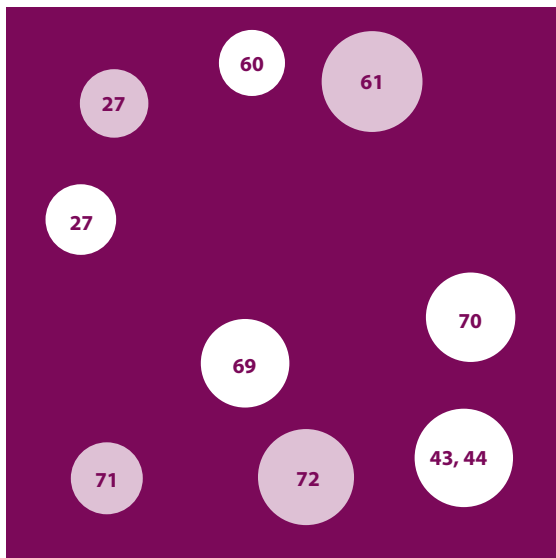


Bibliografía

1. Cullen-Unsworth, L.C. and Unsworth, R. (2018). A call for seagrass protection. *Science* 361(6401), 446-448. <https://doi.org/10.1126/science.aat7318>
2. Tucker, M.A., Böhning-Gaese, K., Fagan W.F., Fryxell J.M., Van Moorter, B., Alberts, S.C. *et al.* (2018) Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science* 359(6374), 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>
3. Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., Holt, R.D. *et al.* (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
4. Wilson, E.O. (2016). *Half-Earth: our planet's fight for life*. London: W.W. Norton & Company
5. Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 34, 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
6. Laurance, W.F., Nascimento, H.E.M., Laurance, S.G., Ana Andrade, A., Ewers, R.M., Harms, K.E. *et al.* (2007) Habitat fragmentation, variable edge effects, and the landscape-divergence hypothesis *PLoS ONE* 2(10), e1017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001017>
7. Crook, D.A., Winsor, H., Lowe, W.H., Allendorf, F.W., Eros, T., Finn, D.S., Gillanders, B.M. *et al.* (2015) Human effects on ecological connectivity in aquatic ecosystems: Integrating scientific approaches to support management and mitigation. *Science of The Total Environment* 534, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.034>
8. Crooks, K.R., Burdett, C.L., Theobald, D.M., King, S.R.B., Di Marco, M., Rondinini, C. *et al.* (2017) Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(29), 7635-7640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705769114>
9. Laurance, W.F., Camargo, J.L.C., Luizão, R.C.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.M. *et al.* (2011) The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation* 144(1), 56-67. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>
10. Olds, A.D., Connolly, R.M., Pitt, K.A., Pittman, S.J., Maxwell, P.S., Huijbers, C.M. *et al.* (2015). Quantifying the conservation value of seascape connectivity: a global synthesis. *Global Ecology and Biogeography* 25, 3-15. <https://doi.org/10.1111/geb.12388>
11. MacArthur, R.H. and Wilson, E.O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
12. Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J.R. and Beard, K.H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation Biology* 24(3), 660-668. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x>
13. Heller, N.E. and Zavaleta, E.S. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142(1), 14-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.006>
14. Noss, R.F., Dobson, A.P., Baldwin, R., Beier, P. Davis, C.R., Dellasala, D.A. *et al.* (2012) Bolder thinking for conservation. *Conservation Biology* 26(1), 1-4. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01738.x>
15. Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E. *et al.* (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience* 67(6), 534-545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
16. Barnosky, A.D., Hadly, E.A., Bascompte, J., Berlow, E.L., Brown, J.H., Fortelius, M. *et al.* (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486(7401), 52. <https://doi.org/10.1038/nature11018>
17. McGuire, J.L., Lawler, J.J., McRae, B.H., Nunez, T.A. and Theobald, D.M. (2016). Achieving climate connectivity in a fragmented landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(26), 7195-7200. <https://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1602817113>
18. Ellis, E.C., Goldewijk, K.K., Siebert, S., Lightman, D. and Ramankutty, N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19(5), 589-606. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x>
19. Oakleaf, J.R. and Kennedy, C.M. (2016). Comparison of global human modification and human footprint maps. *The Nature Conservancy*. http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/lands/science/publications/Documents/HM_HF_comparison_documentation.pdf
20. Venter, O., Sanderson, E.W., Magrach, A., Allan, J.R., Beher, J., Jones, K.R. *et al.* (2016). Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications* 7, 12558. <https://doi.org/10.1038/ncomms12558>
21. Watson, J.E.M., Shanahan, D.F., Di Marco, M., Allan, J., Laurance, W.F., Sanderson, E.W. *et al.* (2016). Catastrophic declines in wilderness areas undermine global environment targets. *Current Biology* 26, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.049>
22. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
23. Jones, K.R., Klein, C.J., Halpern, B.S., Venter, O., Grantham, H., Kuempel, C.D. *et al.* (2018). The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Current Biology* 28(15), 2506-2512. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.010>
24. Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M. *et al.* (2014). A global strategy for road building. *Nature* 513(7517), 229. <https://doi.org/10.1038/nature13717>
25. Habib, B., Rajvanshi, A., Mathur, V.B., and Saxena, A. (2016). Corridors at crossroads: Linear development-induced ecological triage as a conservation opportunity. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4, 132. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00132>
26. Dulac, J. (2013). Global land transport infrastructure requirements - estimating infrastructure capacity and costs to 2050. Paris: International Energy Agency. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FINAL_WEB.pdf
27. Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A.E., MacDonald, G.K., Zarfl, C. and Liermann, C.R. (2015) An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters* 10(1). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/1/015001/meta>
28. Fundación Proteger, International Rivers and ECOA (2018). Dams in Amazonia website. <http://dams-info.org/>
29. Tundisi, J.G., Goldemberg, J., Matsumura-Tundisi, T. and Saraiva, A.C.F. (2014). How many more dams in the Amazon? *Energy Policy* 74, 703-708. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.013>

30. Ibsch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., et al. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318), 1423-1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
31. Hauer, F.R., Locke, H., Dreitz, V.J., Hebblewhite, M., Lowe, W.H., Muhlfeld, C.C. et al. (2016). Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes. *Science Advances* 2(6), e1600026. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600026>
32. Newmark, W.D., Jenkins, C.N., Pimm, S.L., McNeally, P.B. and Halley, J.M. (2017). Targeted habitat restoration can reduce extinction rates in fragmented forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(36), 9635-9640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705834114>
33. García, L.C., Santos, J.S., Matsumoto, M., Silva, T.S.F., Padovezi, A., Sparovek, G. et al. (2013). Restoration challenges and opportunities for increasing landscape connectivity under the new Brazilian Forest Act. *Natureza & Conservação* 11(1), 181-185. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2013.028>
34. Brancalion, P.H.S., Garcia, L.C., Loyola, R., Rodrigues, R.R., Pillar, V.P., and Lewinsohn, T.M. (2012). A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação* 14(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.003>
35. Ojwang', G.O., Wargute, P.W., Said, M.Y., Worden, J.S., Davidson, Z., Muruthi, P. et al. (2017). Wildlife Migratory Corridors and Dispersal Areas: Kenya Rangelands and Coastal Terrestrial Ecosystems. Nairobi: Kenya Wildlife Service
36. Carr, M.H., Robinson, S.P., Wahle, C., Davis, G., Kroll, S., Murray, S. et al. (2017). The central importance of ecological spatial connectivity to effective marine protected areas and to meeting the challenges of climate change in the marine environment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27(S1), 6–29. <https://doi.org/10.1002/aqc.2800>
37. Magris, R.A., Pressey, R.L., Weeks, R. and Ban, N.C. (2014). Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning. *Biological Conservation* 170, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.032>
38. Green, A.L., Maypa, A.P., Almany, G.R., Rhodes, K.L., Weeks, R., Abesamis, R.A. et al. (2015). Larval dispersal and movement patterns of coral reef fishes, and implications for marine reserve network design. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 90(4), 1215–1247. <https://doi.org/10.1111/brv.12155>
39. Engelhard, S.L., Huijbers, C.M., Stewart-Koster, B., Olds, A.D., Schlacher, T.A. and Connolly, R.M. (2016). Prioritising seascape connectivity in conservation using network analysis. *Journal of Applied Ecology* 54(4), 1130–1141. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12824>
40. Foster, N.L., Paris, C.B., Kool, J.T., Baums, I.B., Stevens, J.R., Sanchez, J.A., Bastidas, C. et al. (2012). Connectivity of Caribbean coral populations: complementary insights from empirical and modelled gene flow. *Molecular Ecology* 21(5), 1143–1157. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05455.x>
41. Huntington, B.E., Karnauskas, M., Babcock, E.A. and Limran, D. (2010). Untangling natural seascape variation from marine reserve effects using a landscape approach. *PLoS ONE* 5, e12327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012327>
42. Valentine, J.F., Heck, K.L., Jr, Blackmon, D., Goecker, M.E., Christian, J., Kroutil, R.M. et al. (2008). Exploited species impacts on trophic linkages along reef-seagrass interfaces in the Florida keys. *Ecological Applications* 18(6), 1501–1515. <https://doi.org/10.1890/07-1720.1>
43. Olds, A.D., Pitt, K.A., Maxwell, P.S. and Connolly, R.M. (2012). Synergistic effects of reserves and connectivity on ecological resilience. *Journal of Applied Ecology* 49(6), 1195–1203. <https://doi.org/10.1111/jpe.12002>
44. Olds, A.D., Albert, S., Maxwell, P.S., Pitt, K.A. and Connolly, R.M. (2013). Mangrove-reef connectivity promotes the functioning of marine reserves across the western Pacific. *Global Ecology and Biogeography* 22(9), 1040–1049. <https://doi.org/10.1111/geb.12072>
45. Butchart, S.H., Clarke, M., Smith, R.J., Sykes, R.E., Scharlemann, J.P., Harfoot, M. et al. (2015). Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters* 8(5), 329-337. <https://doi.org/10.1111/conl.12158>
46. Dudley, N., Jonas, H., Nelson, F., Parrish, J., Pyhälä, A., Stolton, S. et al. (2018). The essential role of other effective area-based conservation measures in achieving big bold conservation targets. *Global Ecology and Conservation* 15, e00424. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00424>
47. Zemp, D.C., Schleussner, C.F., Barbosa, H.M., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G. et al. (2017). Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature Communications* 8, 14681. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681>
48. Pacheco, A.A., Neves, A.C.O. and Fernandes, G.W. (2018). Uneven conservation efforts compromise Brazil to meet the Target 11 of Convention on Biological Diversity. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16(1), 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.12.001>
49. Beier, P. and Noss, R.F. (1998). Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12(6), 1241-1252. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.98036.x>
50. Saura, S., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A. and Dubois, G. (2017). Protected areas in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators* 76, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.047>
51. Krosby, M., Tewksbury, J., Haddad, N.M. and Hoekstra, J. (2010). Ecological connectivity for a changing climate. *Conservation Biology* 24(6), 1686-1689. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01585.x>
52. Pulsford, I., Fitzsimons, J. and Wescott, G. (eds.) (2013). *Linking Australia's landscapes: Lessons and opportunities from large-scale conservation networks*. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12060>
53. Correa Ayram, C.A., Mendoza, M.E., Etter, A. and Salicrup, D.R.P. (2016). Habitat connectivity in biodiversity conservation: a review of recent studies and applications. *Progress in Physical Geography* 40(1), 7-37. <https://doi.org/10.1177%2F0309133315598713>
54. Worboys, G., Francis, W.L. and Lockwood, M. (eds.) (2010). *Connectivity conservation management: a global guide (with particular reference to mountain connectivity conservation)*. London: Earthscan
55. Watson, J.E.M., Venter, O., Lee, J., Jones, K.R., Robinson, J.G., Possingham, H.P. et al. (2018) Protect the last of the wild, 31 October. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07183-6>

Referencias gráficas



56. Didham, R. (2010). The Ecological Consequences of Habitat Fragmentation. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021904>

57. Clewenger, A. P. and Wierzchowski, J. (2006) Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragmented by roads. In Crooks, K. R. and Sanjayan, M. (eds), *Connectivity Conservation*. Cambridge: Cambridge University Press, 502–535. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754821.023>

58. Nuñez, T., Lawler, J., Mcrae, B., Pierce, J., Krosby, M., Kavanagh, D., Singleton, P. et al (2013). Connectivity Planning to Address Climate Change. *Conservation Biology*, 27(2), 407-416. <https://doi.org/10.1111/cobi.12014>

59. Proctor, S., McClean, C. and Hill, J. (2011). Protected areas of Borneo fail to protect forest landscapes with high habitat connectivity. *Biodiversity and Conservation*, 20(12), 2693-2704. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0099-8>

60. Bergsten, A., Bodin, Ö. and Ecke, F. (2013). Protected areas in a landscape dominated by logging – A connectivity analysis that integrates varying protection levels with competition–colonization tradeoffs. *Biological Conservation*, 160, 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.01.016>

61. Laurance, W. and Useche, D. (2009). Environmental Synergisms and Extinctions of Tropical Species. *Conservation Biology*, 23(6), 1427-1437. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01336.x>

62. Morris, R. (2010). Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1558), 3709-3718. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0273>

63. Trombulak, S. and Frissell, C. (2000). Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14(1), 18-30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>

64. Chen, H.L. and Koprowski, J.L. (2016). Differential effects of roads and traffic on space use and movements of native forest-dependent and introduced edge-tolerant species. *PLoS ONE*, 11(1), e0148121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148121>

65. Shepard, D.B., Kuhn, A.R., Dreslik, M.J. and Phillips, C.A. (2008). Roads as barriers to animal movement in fragmented landscapes. *Animal Conservation*, 11, 288-296. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00183.x>

66. Gurrutxaga, M. and Saura, S. (2013). Prioritizing highway defragmentation locations for restoring landscape connectivity. *Environmental Conservation*, 41(02), 157-164. <https://doi.org/10.1017/S0376892913000325>

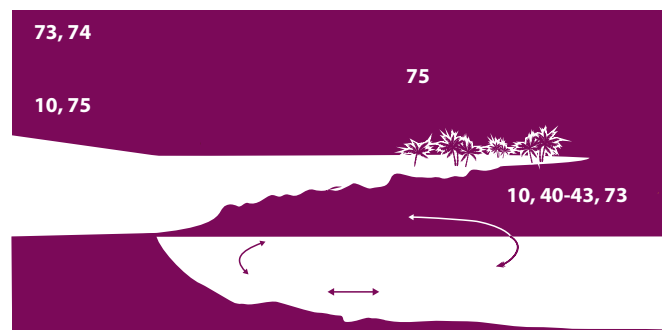
67. Ceballos, G., Ehrlich, P. and Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), E6089-E6096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>

68. Tewksbury, J., Levey, D., Haddad, N., Sargent, S., Orrock, J., Weldon, A., Danielson, B., et al (2002). Corridors affect plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 12923-12926. <https://doi.org/10.1073/pnas.202242699>

69. Brudvig, L.A., Damschen, E.I., Tewksbury, J.J., Haddad, N.M. and Levey, D.J. (2009). Landscape connectivity promotes plant biodiversity spillover into non-target habitats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(23), 9328-9332. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0809658106

70. Martensen, A.C., Ribeiro, M.C., Banks-Leite, C., Prado, P.I. and Metzger, J.P. (2012). Associations of forest cover, fragment area, and connectivity with neotropical understory bird species richness and abundance. *Conservation Biology*, 26(6), 1100-1111. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01940.x>

71. Fox, A.D., Henry, L-A., Corne, D.W. and Roberts, J.M. (2016). Sensitivity of marine protected area network connectivity to atmospheric variability. *Royal Society Open Science*, 3: 160494. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160494>
72. Fang, X., Hou, X., Li, X., Hou, W., Nakaoka, M. and Yu, X. (2018). Ecological connectivity between land and sea: a review. *Ecological Research*, 33, 51–61. <https://doi.org/10.1007/s11284-017-1549-x>



73. Grober-Dunsmore, R., Pittman, S.J., Caldow, C., Kendall, M.S. and Frazer, T.K. (2009). A landscape ecology approach for the study of ecological connectivity across tropical marine seascapes. In: Nagelkerken, I. (ed), *Ecological connectivity among tropical coastal ecosystems*. Springer, Dordrecht, 493–530. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2406-0_14
74. Earp, H.S., Prinz, N., Cziesielski, M.J. and Andskog, M. (2018). For a world without boundaries: Connectivity between tropical ecosystems in times of change. In S. Jungblut, V. Liebich and M. Bode (eds.), *YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Proceedings of the 2017 conference for YOUnG MARine REsearchers in Kiel, Germany. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93284-2_9
75. Boström, C., Pittman, S.J., Simenstad, C. and Kneib, R.T. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*, 427, 191-217. <https://doi.org/10.3354/meps09051>