



3

Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales

Mercedes Bustamante (Brasil), Mayra E. Gavito (México), Alejandro Jiménez (Costa Rica), Ana María Loboguerrero (Colombia), Cecilia Pérez (Chile), Iván Torres (España), María Luisa Suárez (España), María Rosario Vidal-Abarca (España).

Se recomienda citar este texto como:

Bustamante, M., M. E. Gavito, A. Jiménez, A. M. Loboguerrero, C. Perez, I. Torres, M.L. Suárez, M.R. Vidal-Abarca, 2020: Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales. En: *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos - Informe RIOCCADAPT*. [Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo y U. Oswald Spring (eds.)]. McGraw-Hill, Madrid, España (pp. 91-129, ISBN: 9788448621643).

... CONTENIDO

Resumen ejecutivo	93
3.1. Introducción.....	93
3.1.1. Marco conceptual	93
3.1.2. Principales cifras del sector	94
3.2. Componentes del riesgo en relación con los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales	95
3.2.1. Amenazas.....	95
3.2.2. Principales vulnerabilidades	96
3.2.2.1. Ecosistemas montanos	96
3.2.2.2. Bosques templados, subtropicales y tropicales.....	97
3.2.2.3. Ecosistemas estacionales y áridos.....	98
3.2.2.4. Ecosistemas acuáticos continentales	98
3.3. Caracterización de los riesgos y sus impactos	100
3.3.1. Ecosistemas terrestres.....	100
3.3.1.1. Ecosistemas montanos	100
3.3.1.2. Bosques templados, subtropicales y tropicales	100
3.3.1.3. Ecosistemas estacionales y secos	103
3.3.2. Ecosistemas acuáticos.....	103
3.4. Actividades de adaptación planificada.....	104
3.4.1. Escala supranacional	104
3.4.2. Escala nacional	106
3.4.2.1. Brasil.....	106
3.4.2.2. Chile	106
3.4.2.3. México.....	109
3.4.2.4. Costa Rica.....	110
3.4.2.5. España y Portugal	110
3.4.3. Escala subnacional	110
3.4.4. Escala local	111
3.5. Barreras, oportunidades e interacciones.....	112
3.6. Medidas o indicadores de la efectividad de la adaptación.....	112
3.7. Casos de estudio	114
3.7.1. Restauración del río Órbigo	114
3.7.1.1. Resumen del caso	114
3.7.1.2. Introducción a la problemática del caso.....	115
3.7.1.3. Descripción del caso	116
3.7.1.4. Limitaciones e interacciones	116
3.7.1.5. Lecciones identificadas.....	117
3.7.2. Escenarios participativos para manejo sostenible de bosques en México.....	117
3.7.2.1. Resumen del caso	117
3.7.2.2. Introducción a la problemática del caso.....	117
3.7.2.3. Descripción del caso.....	117
3.7.2.4. Limitaciones e interacciones	118
3.7.2.5. Lecciones identificadas.....	118
3.8. Principales lagunas y necesidades futuras	118
3.9. Conclusiones.....	118
Bibliografía.....	119
Anexo del Capítulo 3: selección de proyectos sobre soluciones basadas en la naturaleza en la Península Ibérica	128

Resumen ejecutivo

La biodiversidad y los ecosistemas en los países de la RIOCC se encuentran entre los activos más valiosos de la región y son de importancia estratégica para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo, incluyendo medidas de adaptación con base en ecosistemas. Los ecosistemas terrestres y acuáticos de los países iberoamericanos son la base de una amplia gama de actividades humanas, como la agricultura, la pesca, la silvicultura y el turismo, que producen bienes y servicios de mercado. Estas actividades desempeñan un papel importante en los ingresos y el empleo en la región.

Los efectos combinados del cambio climático y la pérdida de hábitats representan una gran amenaza para las especies y los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales en los países RIOCC. Los cambios en los patrones de precipitación y los eventos extremos de sequía también están relacionados con los cambios en los regímenes de incendios que están afectando a los ecosistemas en los países de la RIOCC. Las regiones de montaña proporcionan servicios ambientales importantes, como el suministro de agua para las tierras bajas adyacentes, pero son particularmente vulnerables al cambio climático. Esto afecta especialmente a los ecosistemas de aguas continentales (ríos, lagos y humedales) y al agua como recurso natural, no solo por la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura, sino también por la intensificación de la competencia por el agua entre distintos sectores.

La implementación efectiva de estrategias de adaptación para contrarrestar los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas, su biodiversidad y los medios de subsistencia requiere una comprensión clara de cómo el cambio climático influirá en el funcionamiento y la distribución futura de los ecosistemas. El cambio climático afectará a la precipitación efectiva y a la producción primaria en los sistemas naturales, con consecuencias a corto plazo y efectos a más largo plazo debido a la degradación. La pérdida de conectividad entre los fragmentos de los ecosistemas nativos y la introducción de especies invasoras, unidas a la fuerte variabilidad climática, amenazan la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas. La espiral de degradación ambiental resultante agota progresivamente los servicios de los ecosistemas y reduce su capacidad para adaptarse al cambio climático.

La adaptación basada en los ecosistemas (AbE) aparece como una posibilidad que reúne la adaptación al cambio climático y la gestión de áreas naturales. Los ecosistemas naturales protegidos son fundamentales para la resiliencia de la biodiversidad y de la sociedad frente a los impactos del cambio climático. Los planes nacionales de adaptación de varios países RIOCC incluyen medidas y programas propuestos para la adaptación al cambio climático en el área de la conservación y restauración de los ecosistemas (terrestres y acuáticos) y medidas de AbE. Las medidas de adaptación para los ecosistemas deben incluir acciones para reducir la

exposición a factores no climáticos, lo que implica aumentar la resiliencia de los ecosistemas en un contexto territorial apropiado desde una perspectiva integrada, donde la cuenca de drenaje sea el marco territorial para la cooperación y coordinación entre los administradores de tierras y aguas.

La gobernanza de los recursos naturales está fuertemente influenciada por el hecho de que las economías de muchos de los países RIOCC están dominadas por las exportaciones de productos basados en los recursos naturales (petróleo, minerales y recursos agrarios). Aunque el cambio climático afecta a toda la población de los países iberoamericanos, las consecuencias son más intensas en aquellos donde la dependencia de la población local de los recursos naturales es más directa y donde la capacidad para desarrollar estrategias de resiliencia es menor. Sin una estrategia adecuada de conservación de los ecosistemas nativos adaptada al cambio climático, se pone en riesgo el mantenimiento de muchos servicios de los ecosistemas y aumenta la vulnerabilidad socioecológica.

Los planes nacionales de adaptación han avanzado en la estrategia de adaptación al cambio climático, pero aún no reflejan la vulnerabilidad integrada de los ecosistemas y las poblaciones asociadas a ellos. La coordinación de las Administraciones y el avance en la gestión adaptativa del manejo de los ecosistemas es aún poco significativa. Las brechas principales son la falta de compromisos a largo plazo, de recursos financieros estables ante los cambios gubernamentales y de conocimiento científico sobre la problemática de la adaptación de los ecosistemas frente al cambio climático. La adaptación al cambio climático a escalas municipal y de distrito requiere del reconocimiento de los servicios ambientales que los ecosistemas proveen—incluida la reducción del riesgo de desastre— al conjunto de actividades productivas desarrolladas en los territorios de las cuencas hidrográficas.

El monitoreo de la aplicación de las medidas de adaptación y los índices para evaluar el éxito en la adaptación aún no están extensamente desarrollados ni implementados. Es necesario identificar métricas de evaluación de las medidas de adaptación y los factores que pueden fortalecer la resiliencia social y ecológica para diseñar líneas de acción que actúen sinérgicamente. Las líneas de actuación que incluyen mecanismos de apropiación social y participación de diferentes actores, sobre todo locales, en los programas de adaptación podrían ser menos vulnerables a los cambios de gobernanza, resultando en continuidad en las acciones implementadas.

3.1. Introducción

3.1.1. Marco conceptual

El marco conceptual del capítulo que se presenta en la **Figura 3.1** (Munang *et ál.*, 2013) resalta el papel central de la biodiversidad para el mantenimiento de los servicios de los ecosistemas para la sociedad.

El cambio climático desencadena la transformación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y modificaciones sustanciales de los servicios de los ecosistemas (**Figura 3.1a**). La vulnerabilidad de los servicios de los ecosistemas al cambio climático o la variabilidad del clima y otras amenazas pueden describirse mediante criterios relacionados con la exposición y la sensibilidad a los impactos, la capacidad de adaptación de los ecosistemas en función de la degradación actual y otras presiones. Los sistemas sociales humanos y su vulnerabilidad a la pérdida de servicios ecosistémicos están asociados a la sensibilidad del sistema (por ejemplo, la dependencia de productos forestales no maderables o agua limpia) y su capacidad de adaptación (por ejemplo, la disponibilidad de sustitutos para los servicios perdidos). La capacidad de adaptación del sistema en su conjunto se refiere a la aptitud de los sistemas sociales para reducir o eliminar las prácticas que aumentan la presión sobre los ecosistemas y la capacidad de implementar la adaptación. Así, uno de los objetivos de la gestión de los ecosistemas es mantener la salud y aumentar la resiliencia, al tiempo que se reduce la vulnerabilidad frente al cambio climático (**Figura 3.1b**). Los ecosistemas resilientes tienen un mayor potencial para mitigar y adaptarse al cambio climático y para revertir los efectos del calentamiento global. Resisten y se recuperan más fácilmente de los fenómenos meteorológicos extremos, al tiempo que continúan proporcionando una amplia gama de servicios ecosistémicos. Al mismo tiempo, los ecosistemas en buen estado de conservación y gestionados

racionalmente aportan servicios ambientales de regulación, como la regulación del clima, el control de inundaciones al absorber excesos de agua y mitigar escorrentías extremas y la protección frente a tormentas tropicales y deslizamientos de tierra capaces de causar daños a los actores sociales más expuestos y vulnerables.

3.1.2. Principales cifras del sector

La biodiversidad y los ecosistemas se encuentran entre los activos más valiosos de los países RIOCC y son de importancia estratégica para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo. Latinoamérica y el Caribe abarcan vastas áreas a ambos lados del ecuador, incluida una amplia gama de ecosistemas tropicales, subtropicales y templados (ver **Capítulo 1**). Contienen cerca de 800 millones de hectáreas de áreas boscosas, 570 millones de hectáreas de sabanas silvestres, 700 millones de hectáreas de tierras productivas, más del 30 % del agua dulce disponible en el planeta y alrededor del 40 % del total de recursos hídricos renovables (UNEP, 2010). Los ecosistemas terrestres y acuáticos de estas regiones respaldan una amplia gama de actividades humanas, como la agricultura, la pesca, la silvicultura y el turismo, que producen bienes y servicios de mercado. Estas actividades desempeñan un papel importante como fuente de ingresos y empleo en la región, pero los ecosistemas están en continua amenaza, disminución y

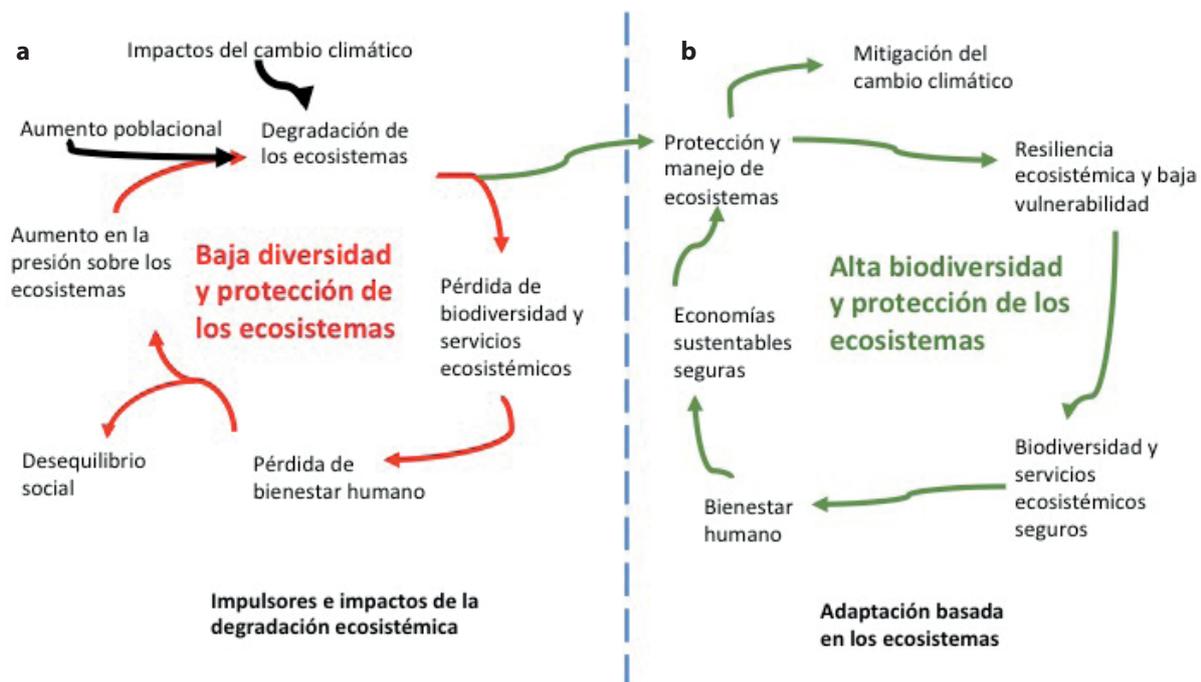


Figura 3.1. Marco conceptual de (a) los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y la sociedad y (b) medidas de gestión que pueden resultar en un ciclo de incremento de la resiliencia ecosistémica y disminución de la vulnerabilidad. Fuente: Munang et al. (2013) (traducido por los autores).

deterioro por la deforestación, principalmente para conversión a agricultura intensiva, por el uso recurrente del fuego como práctica de manejo y por la práctica de ganadería extensiva (Bustamante *et ál.*, 2014). El contexto ambiental de la Península Ibérica, entre dos regiones biogeográficas (eurosiberiana y mediterránea) y con varias cadenas montañosas, otorga a esta región una gran diversidad de hábitats y comunidades. La región mediterránea abarca casi toda la superficie de España y Portugal. La Península Ibérica es una de las áreas mediterráneas más ricas en especies de plantas vasculares (Groombridge, 1992) y sus áreas de montaña presentan los niveles más altos de riqueza de especies (Parga *et ál.*, 1996). Una diferencia importante entre las dos regiones es que, en la Península Ibérica, especialmente en la región mediterránea y en las regiones de montaña, hay un incremento del abandono de tierras y despoblamiento rural (Romero-Díaz *et ál.*, 2017), mientras que en Latinoamérica y el Caribe predomina la deforestación (Song *et ál.*, 2018).

3.2. Componentes del riesgo en relación con los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales

3.2.1. Amenazas

Los efectos combinados del cambio climático y la pérdida de hábitats representan una gran amenaza para las especies y los ecosistemas en los países RIOCC. A medida que el cambio climático ha ido afectando a los ecosistemas, su biodiversidad y los medios de subsistencia que mantienen, se han propuesto distintas estrategias de adaptación y mitigación para contrarrestar sus impactos. Sin embargo, la implementación efectiva de tales estrategias requiere una comprensión clara de cómo el cambio climático influirá en el funcionamiento y la distribución futura de los ecosistemas.

El cambio en el uso del suelo es uno de los principales impulsores de los cambios en los biomas que causan la pérdida de hábitats y biodiversidad. Una proyección a escala continental de los impactos del cambio climático y del uso del suelo sobre los biomas en Latinoamérica bajo cuatro escenarios de desarrollo socioeconómico (Boit *et ál.*, 2016) indicó que entre el 5-6 % de la superficie total sufrirá cambios en los biomas que pueden atribuirse al cambio climático hasta el año 2099. El impacto relativo del cambio climático en los cambios de los biomas puede superar el impacto del cambio en el uso del suelo, incluso en un escenario climático optimista, si la expansión de este impacto se detuviese a mediados de siglo. Teniendo en cuenta esos resultados, se sugiere que restringir el cambio en el uso del suelo y preservar la vegetación natural remanente en este momento crea

oportunidades para mitigar los impactos del cambio climático durante la segunda mitad de este siglo.

De acuerdo con Aide *et ál.* (2013), entre 2001-2010, la deforestación de los bosques húmedos, bosques secos y biomas de sabanas y matorrales dominó el cambio de la vegetación leñosa en América del Sur (-541.835 km²). Aun cuando sus países incluyen una gran diversidad de biomas y una amplia variación latitudinal, altitudinal y climática, y los motivos y fines no son siempre los mismos en todas las regiones, el cambio constante en el uso del suelo, con pérdidas considerables de cobertura forestal y degradación de los ecosistemas por fragmentación de la vegetación nativa y deterioro por el uso agrícola, pecuario o forestal, es un factor común (Bustamante *et ál.*, 2014). No obstante, también hubo recuperación de la vegetación leñosa (+362.430 km²), particularmente en regiones demasiado secas o abruptas para la agricultura moderna (Aide *et ál.*, 2013). El crecimiento poblacional y la falta de planeación y acciones estratégicas que reviertan las tendencias de deterioro ecosistémico y compensen los daños ambientales presentan un escenario complicado de cara al futuro, donde las amenazas crecen y generan desequilibrios en recursos básicos (Austin *et ál.*, 2013) que tardarán décadas en reducirse, incluso tomando medidas drásticas desde este momento. En contraste, una gran parte de la Península Ibérica tiene una densidad de población relativamente baja y las tierras de cultivo han disminuido considerablemente en las últimas décadas (Vidal-Macua *et ál.*, 2017).

El uso del suelo y el cambio de la cobertura del suelo afectan al clima regional a través de modificaciones en el balance hídrico y el balance de energía. Estos impactos se expresan con frecuencia a través de cambios en el régimen de precipitación y alteración de las temperaturas superficiales (Salazar *et ál.*, 2015). Se han documentado cambios estructurales importantes (Peñuelas y Boada, 2003) y funcionales (Vicente-Serrano y Heredia-Laclaustra, 2004) de los ecosistemas ibéricos debido a las modificaciones climáticas. Por ejemplo, después del abandono de muchas áreas rurales y el cambio de uso del suelo, la sequía y las variables topográficas que condicionan la disponibilidad de agua en el suelo han jugado un papel muy importante en los cambios forestales en las últimas décadas. Se ha observado una disminución en la abundancia de coníferas debido a la falta de regeneración (Carnicer *et ál.*, 2014), pero también a incendios forestales en décadas previas (Urbieta *et ál.*, 2019) que en parte han regenerado formaciones mixtas con especies del género *Quercus* (Broncano *et ál.*, 2005; Torres *et ál.*, 2016). Mientras tanto, las especies de planifolios (especialmente *Quercus ilex*) se han expandido y podrían volverse dominantes en muchas áreas del Mediterráneo si continúan las tendencias de aumento de las temperaturas y la disminución de la disponibilidad de agua (Carnicer *et ál.*, 2014; Vidal-Macua *et ál.*, 2017). El abandono del uso tradicional del suelo también ha provocado la matorralización de ecosistemas agrosilvopastorales, como las dehesas de *Q. ilex* y *Q. suber* (Pliening, 2006), lo que incrementa la competencia por el agua y el riesgo de incendio (Acácio *et ál.*, 2009).

Los aumentos previstos en la frecuencia e intensidad de eventos extremos afectan a la producción primaria en los sistemas naturales. Las consecuencias a corto plazo dan lugar a una disminución de la producción y los efectos a más largo plazo se deben a la degradación. En algunos casos, la combinación de sequía, sobreexplotación y especies invasoras producen daños irreversibles. El disturbio previo acumulado (como el sobrepastoreo o las quemaduras regulares de limpieza), la cobertura fragmentada o las funciones ecosistémicas ya deterioradas por prácticas de manejo inadecuadas pueden aumentar la sensibilidad de las especies y de las funciones del ecosistema, haciéndolos más vulnerables al cambio climático (Opdam y Wascher, 2004; Oliver *et al.*, 2015). La pérdida de conectividad entre los fragmentos restantes de los ecosistemas nativos, la introducción de especies invasoras, ya sea en forma deliberada o causal, unido a la fuerte variabilidad climática amenazan la sobrevivencia de muchas especies y funciones ecosistémicas (Sgro *et al.*, 2011; Segan *et al.*, 2016). La espiral de degradación ambiental resultante agota progresivamente los servicios ecosistémicos y reduce la capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático (Munang *et al.*, 2013; Steffen *et al.*, 2015).

3.2.2. Principales vulnerabilidades

La vulnerabilidad de los ecosistemas al cambio climático es función de los niveles actuales de la integridad del hábitat y de la vulnerabilidad a los cambios del bioma (Eigenbrod *et al.*, 2015). Una pregunta clave es cómo identificar los ecosistemas más vulnerables a la variación climática. Desafortunadamente, existen grandes lagunas en el monitoreo de la cubierta vegetal en todo el planeta que limitan considerablemente su seguimiento histórico y su análisis en relación con otros factores en fechas muy recientes. Por ejemplo, un estudio que utilizó datos del satélite MODIS recopilados entre 2000 y 2013 identificó ecosistemas sensibles al clima (Seddon *et al.*, 2016). Las áreas de sensibilidad amplificadas a la variabilidad climática incluyeron la selva tropical, las regiones alpinas, las regiones de estepa y pradera de Sudamérica y el bosque caducifolio de Caatinga en el este de América del Sur.

Además de los impactos asociados con la exposición directa de ecosistemas y especies al cambio en variables climáticas, la sensibilidad de un ecosistema se ve afectada por variables «no climáticas» que incluyen conversión de la cubierta forestal y fragmentación de ecosistemas, cambios en el régimen de fuego y deficiencias de la gobernanza y los arreglos institucionales. Las regiones MEX, CAC, AMZ, NEB, SES, APT, APC y PAT han hecho una contribución histórica relativamente pequeña al cambio climático (UNEP, 2010), pero son muy vulnerables a sus efectos debido a su geografía, clima, condiciones socioeconómicas y factores demográficos, e incluso por la gran sensibilidad de sus activos naturales, como los bosques y su biodiversidad, al mismo. Aunque el cambio climático afecta a toda la población de los países iberoamericanos, las consecuencias son más inten-

sas en algunos países de Latinoamérica, donde la dependencia de la población local de los recursos naturales es más directa y donde la capacidad para desarrollar estrategias de resiliencia es menor. La inequidad social, en particular en Latinoamérica, es una preocupación por las implicaciones adversas para los ecosistemas y la calidad de vida, y porque la gobernanza de los recursos naturales está fuertemente influenciada por el hecho de que las economías están dominadas por las exportaciones de productos con base en los recursos naturales (petróleo, minerales y recursos agrarios) (IPBES, 2018a). Por lo tanto, las políticas y acciones concretas para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas al cambio climático deberían enfatizar el cambio en los factores sociales y económicos que impulsan la pérdida y el deterioro de los ecosistemas (Carleton y Hsiang, 2016).

A continuación, se plantean con más detalle algunos aspectos de vulnerabilidad de distintos tipos de ecosistemas terrestres y acuáticos continentales.

3.2.2.1. Ecosistemas montañosos

Los paisajes de montaña son reconocidos como altamente vulnerables al cambio climático. Los modelos sugieren que experimentan un calentamiento desproporcionado en comparación con las correspondientes regiones de tierras bajas (Brodnig y Prasad, 2010). Las regiones de montaña proporcionan servicios ambientales importantes, como el suministro de agua para las tierras bajas adyacentes y más secas (Viviroli *et al.*, 2010). Las regiones de montaña son particularmente vulnerables en primer lugar por su configuración geográfica, que las hace sensibles a las perturbaciones físicas. La retirada de los glaciares y el cambio de uso del suelo en los Andes peruanos están contribuyendo a un mayor riesgo de inundaciones de lagos glaciares, humedales degradados y hábitats de pastizales, y arroyos glaciares altamente acidificados (O'Donnell *et al.*, 2016). Ante la pérdida de los glaciares, los humedales de gran altitud son cada vez más importantes para regular la escasez estacional de agua. Los humedales alpinos pueden formarse sobre valles inclinados, en cuencas o sobre planicies. La importancia de los humedales alpinos va más allá del almacenamiento y la purificación del agua (ver **Capítulo 6**). Proporcionan un hábitat crítico para una variedad de especies de vida silvestre y plantas endémicas. Por ejemplo, la vegetación en humedales es a menudo el forraje de pastoreo preferido para el ganado en la Cordillera Blanca y para el ganado y la alpaca en el sur del Perú. Sin embargo, el pastoreo del ganado puede cambiar rápidamente la cubierta vegetal y su composición, lo que a su vez afecta a la capacidad de almacenamiento de agua. El pastoreo excesivo ha sido la principal causa de degradación en los humedales alpinos. La contaminación, las zanjas de drenaje y la cosecha de turba también constituyen amenazas importantes para los ecosistemas de humedales sanos. Las soluciones propuestas para las cuencas hidrográficas de las tierras altas pueden salvaguardar valiosos ecosistemas de montaña, asegurar los

recursos hídricos y crear resiliencia en toda la cuenca [ver sección sobre acciones de adaptación).

La tundra altoandina, o páramo, y las praderas de montaña, o puna, son también reconocidas por tener un papel significativo en el ciclo y almacenamiento del carbono. Estos pastizales pueden ser tan productivos como los bosques nubosos (Oliveras *et ál.*, 2014). El páramo consiste en una colección de ecosistemas neotropicales de pastizales altoandinos que cubren la región superior de los Andes del norte. Estos juegan un papel clave en la hidrología del continente. Muchos de los afluentes más grandes de la cuenca del Amazonas tienen su cabecera en el páramo. También es la principal fuente de agua para las tierras altas de los Andes y una vasta área de tierras bajas áridas y semiáridas, donde el agua del páramo se utiliza para el consumo doméstico, agrícola e industrial y la generación de energía hidroeléctrica. Recientemente, el páramo se ha empezado a utilizar cada vez más para el pastoreo intensivo, el cultivo y la plantación de pinos, entre otros usos. Estas actividades, así como el cambio climático, alteran severamente el régimen hidrológico.

Los efectos del cambio climático en los pastizales de gran altitud aún no están claros; sin embargo, un estudio de pastizales andinos muestra que varias propiedades del suelo, incluida la resistencia a la generación de escorrentía y la erosión, probablemente cambiarán con el calentamiento climático futuro (Zehetner y Miller, 2006). En los Andes, la condición de los pastizales y el manejo de cuencas altas son factores críticos para el sustento sostenible del pastoralismo.

Los ecosistemas de carácter insular, como los ecosistemas aislados, los de alta montaña o los asociados a islas edáficas, son particularmente vulnerables (Valladares *et ál.*, 2005). Los pastizales de alta montaña mediterránea están viendo reducida su extensión por el ascenso de las franjas de vegetación arbustiva debido a una combinación de calentamiento y de disminución de la presión ganadera que produce matorralización y pérdida de hábitat (Escudero *et ál.*, 2012). De forma similar, se ha observado un incremento del límite superior del bosque en los Pirineos debido principalmente a la disminución de la presión ganadera (Améztegui *et ál.*, 2010).

3.2.2.2. Bosques templados, subtropicales y tropicales

Se puede esperar —como reacción de adaptación evolutiva de los organismos— el desplazamiento de especies templadas y boreales hacia latitudes superiores y hacia mayores altitudes en las zonas montañosas (Sunday *et ál.*, 2014; Pecl *et ál.*, 2017). En los ecosistemas terrestres, los ecotonos se encuentran entre las zonas más vulnerables por su naturaleza transicional.

En la Península Ibérica, se esperan avances de especies mediterráneas a expensas de las especies atlánticas, que serán desplazadas hacia posiciones de mayor latitud o alti-

tud (Valladares *et ál.*, 2005). Por ejemplo, en las últimas décadas se han observado ascensos del límite superior de los bosques de *Fagus sylvatica*, el cual es desplazado por *Quercus ilex* en su límite inferior (Peñuelas y Boada, 2003), o un incremento de la superficie en que coexisten *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris* (Hernández *et ál.*, 2014). De igual forma, el límite inferior del bosque delimitado por la aridez se verá desplazado por ecosistemas de tipo matorral, más tolerantes a la sequía.

Peñuelas *et ál.* (2017) revisaron los impactos del cambio climático en los ecosistemas terrestres de la región mediterránea principalmente con experimentos de manipulación climática *in situ* a largo plazo y sitios de campo monitoreados en Cataluña (NE de España). Se han descrito cambios genéticos, epigenéticos y metabólicos rápidos en las plantas, si bien algunos de estos cambios no se han observado en estudios similares (Torres *et ál.*, 2018). Estos cambios, cuando se han producido, han resultado en transformaciones en la morfología, fisiología, crecimiento, reproducción y mortalidad. Algunas especies son más vulnerables a estos cambios que otras, lo que ha alterado su capacidad competitiva y, por lo tanto, se ha modificado la composición de la comunidad microbiana del suelo vegetal y animal. Se ha observado también un aumento en la emisión de compuestos orgánicos volátiles biogénicos o un mayor riesgo de incendio y una disminución en la absorción de CO₂ en periodos de sequía. El aumento proyectado de las lluvias torrenciales introduce un escenario de cambios inciertos en los ciclos de nutrientes, la fertilidad del suelo y los flujos de nutrientes a medio y largo plazo. Todos estos cambios en la disponibilidad de agua y nutrientes sugieren, sin embargo, pérdidas netas en la capacidad de los bosques y matorrales mediterráneos para actuar como sumideros de carbono. El fuego es un factor ecológico dominante en los ecosistemas mediterráneos, y los cambios en el régimen de incendios pueden tener consecuencias importantes para la estabilidad de los paisajes. Se ha observado una ligera tendencia a la disminución de las precipitaciones de verano y un claro patrón de aumento de las temperaturas anuales y estivales (Pausas, 2004). La actividad de los incendios ha disminuido en las últimas décadas en toda España y en la mayoría de las provincias, pero los factores de riesgo de incendio han aumentado. Los incendios forestales están quemando zonas preferentemente sin árboles. Esta disminución de la actividad de los incendios coincide con el aumento de los recursos de supresión de incendios (Urbietta *et ál.*, 2019).

Hay preocupación sobre si la función del bosque y su estructura se recuperarán de los impactos relacionados con la sequía, que se espera que aumente con el calentamiento global. Las condiciones extremadamente secas afecta o afectaron negativamente al crecimiento de un gran bosque de *Pinus pinaster* (aproximadamente 7.500 ha) en el sur de Europa durante una de las décadas más secas de los últimos 70 años (es decir, 1942-1952) (Madrigo-González *et ál.*, 2017). También el reclutamiento de árboles fue afectado durante la sequía y disminuyó ligeramente la supervivencia en la década posterior a la misma (Madrigo-González *et ál.*, 2017).

Se han propuesto varias estrategias de adaptación y mitigación para contrarrestar los impactos del cambio climático para los ecosistemas forestales. Sin embargo, la implementación efectiva de tales estrategias requiere de una comprensión clara de cómo el cambio climático influirá en la distribución futura de los ecosistemas forestales. Correia *et ál.* (2018) predijeron áreas ambientalmente adecuadas para bosques de alcornoque (*Quercus suber*), un ecosistema forestal de importancia socioeconómica protegido por la Directiva de Hábitats de la Unión Europea (Correia *et ál.*, 2018). Pueden perderse hasta el 40 % de las áreas actuales de alcornoque, principalmente en el norte de África y el sur de la Península Ibérica hacia el 2070. Se prevé que casi el 90 % de los nuevos rodales de alcornoque perderán su idoneidad para finales de siglo, pero las plantaciones futuras pueden aprovechar la creciente idoneidad en el norte de la Península Ibérica y Francia. Los impactos previstos de las fronteras entre países muestran que se requerirá una estrategia multinacional para la adaptación del bosque de alcornoque al cambio climático. Dicha estrategia debe ser ajustada regionalmente, presentando la protección de los refugios en las áreas del sur y estimulando el manejo forestal sostenible en áreas que mantendrán la idoneidad a largo plazo. Los esfuerzos de forestación también deberían promoverse, pero deben considerar la idoneidad ambiental y los problemas de competencia por el uso de la tierra.

En la zona mediterránea de Chile se ha documentado que el aumento de los periodos de sequía trae severas consecuencias en determinadas funciones ecosistémicas que afectan a la fertilidad del suelo, como la fijación biológica del nitrógeno y las tasas de mineralización y desnitrificación (Pérez *et ál.*, 2018). Asimismo, se ha establecido que los años excepcionalmente secos traen como consecuencia una disminución en el incremento del grosor de los árboles de los bosques templados australes, subantárticos y de la zona mediterránea de Chile (Suárez *et ál.*, 2004; Pérez *et ál.*, 2009; Walter *et ál.*, 2016; Rodríguez-Catón *et ál.*, 2016; Venegas-González *et ál.*, 2018), deteriorando la productividad del ecosistema.

Asociado a una prolongación de la sequía estival se encuentra un aumento en el riesgo de incendios forestales (ver también **Capítulo 12**). En algunos ecosistemas el fuego es una perturbación recurrente a la que estos están adaptados (Keeley *et ál.*, 2011), si bien una modificación del régimen de incendios puede suponer una pérdida de resiliencia. Además, el riesgo de incendio está aumentando también en ecosistemas donde el fuego no es una perturbación habitual (Aragão *et ál.*, 2007) y para los que hasta el momento no existen estudios que permitan evaluar su grado de resiliencia a los incendios.

Con respecto a los bosques tropicales, existe un considerable interés en comprender el destino de la Amazonia durante el próximo siglo frente al cambio climático, los crecientes niveles de CO₂ en la atmósfera, la transformación de la tierra en curso y los regímenes de incendios cambiantes en la región (Zhang *et ál.*, 2015). Bajo la proyección climática más seca, se prevé que el cambio climático por sí solo reducirá

la cubierta forestal amazónica en un promedio del 14 %. El impacto relativo del uso del suelo y la dinámica del fuego en comparación con el clima y el impacto del CO₂ varían considerablemente, dependiendo del clima y el escenario de uso del suelo, y del modelo de biosfera terrestre utilizado, destacando la importancia de una mejor comprensión cuantitativa de los cuatro factores.

En América del Sur, la mayoría de los estudios sobre los efectos del cambio de uso del suelo en el clima local y regional se han centrado en la región amazónica, mientras que los cambios de uso en regiones no amazónicas son escasos a pesar de su importancia potencial para regular el clima regional. En estas se advierten mayores tasas de deforestación y evidencias que muestran que la pérdida de estos ecosistemas causa reducciones significativas en las precipitaciones y aumentos en las temperaturas de la superficie, con impactos ocasionales que afectan a las áreas vecinas o remotas (Salazar *et ál.*, 2015).

3.2.2.3. Ecosistemas estacionales y áridos

Los ambientes áridos son de especial vulnerabilidad por encontrarse en el límite de su nivel de precipitación, además de sufrir fuertes presiones de otros tipos por cambios en los usos del suelo que incrementan la fragmentación y la vulnerabilidad a factores climáticos. En ecosistemas áridos del sur de España se ha observado una fuerte disminución y pérdida de servicios ecosistémicos por cambios en los usos del suelo, lo que incrementa la vulnerabilidad a factores climáticos (Cabello y Castro, 2012). Maestre *et ál.* (2013) comprobaron experimentalmente que el calentamiento y la sequía en zonas áridas provocan reducciones drásticas de la costra biológica que disminuyen su capacidad de secuestrar CO₂ atmosférico.

La Caatinga en el Nordeste de Brasil está muy amenazada debido a estar expuesta a la conversión de tierras para el rancho agrícola y ganadero. Las proyecciones climáticas predicen aumentos en la aridez, lo que podría representar un riesgo adicional para el bioma. Existe una fuerte evidencia de que el cambio climático está interactuando de forma negativa con la pérdida de hábitats y contribuyendo sinérgicamente a la degradación de la diversidad biológica. El análisis por ecorregiones de Watson *et ál.* (2013) señala el este de América del Sur como una de las ecorregiones más vulnerables a nivel mundial, teniendo en cuenta la estabilidad climática futura y la proporción de vegetación natural, entre otros factores. Bajo escenarios de cambio climático, la biomasa de la vegetación nativa de Caatinga y el stock de carbono orgánico del suelo disminuirían a lo largo de este siglo, incluso sin transformar la vegetación a agricultura y ganadería (Althoff *et ál.*, 2016).

3.2.2.4. Ecosistemas acuáticos continentales

Las condiciones de variabilidad climática asociadas al fenómeno de El Niño (para más detalles sobre el fenómeno ver

Capítulo 1) pueden afectar directamente a la frecuencia del denominado pulso hidrológico, lo que repercutiría en el transporte y almacenamiento de agua y sedimentos, así como en los procesos biológicos y biogeoquímicos que tienen lugar en las unidades hidrológicas formadas por los ríos y sus llanuras de inundación (Junk, 2001). Hasta el momento se conoce poco sobre la vulnerabilidad de los bosques amazónicos de bajura y no existen estudios previos sobre los efectos de las sequías e inundaciones severas en estos ecosistemas (Gloor *et ál.*, 2013; Honorio Coronado y Draper, 2017).

Sin embargo, un estudio reciente demostró que poblaciones de animales silvestres en la Reserva Natural de Pacaya Samiria (Perú) fueron diezmados a causa de las severas inundaciones de 2009, seguidas por las inundaciones consecutivas de 2011 a 2014 —con la mayor de ellas registrada en 2012 y vinculada al ciclo de La Niña— (Espinoza *et ál.*, 2013; Bodmer *et ál.*, 2017). Durante ese periodo, numerosos mamíferos terrestres desaparecieron, estimando la pérdida en 1,5 millones de individuos —pecarí, venado, grandes roedores y edentados— debido a su alta dependencia de zonas secas para la caza (Bodmer *et ál.*, 2014; Honorio Coronado y Draper, 2017). Los mismos autores señalan que las sequías ocurridas en 2010 hicieron declinar las poblaciones de peces, delfines y aves zancudas, y que este tipo de eventos está poniendo en peligro los medios de vida y la seguridad alimentaria de las comunidades cocamas que habitan las zonas de bosques inundables (ver **Capítulo 2**).

Es importante comprender la dinámica que presentan los humedales de bosques inundables, ya que estos reflejan las fluctuaciones climáticas y sus impactos. La interfaz terrestre y acuática entre las estaciones más húmedas y secas los hace sensibles a mayores variaciones estacionales (Hamilton *et ál.*, 2002; Bodmer *et ál.*, 2017).

Por otro lado, el análisis de los pulsos de inundación en la cuenca baja del río San Pedro en México (Hernández-Guzmán *et ál.*, 2016) señala que el patrón del pulso hidrológico puede variar en función de la intensidad y la duración de la época lluviosa, y ocasionalmente por la influencia de huracanes y tormentas tropicales. Además de ello, el ciclo anual del nivel del mar en muchos puntos del Pacífico mexicano presenta sus valores más altos en el verano, aumentando el riesgo de inundación en ese periodo (Zavala-Hidalgo *et ál.*, 2010; Hernández-Guzmán *et ál.*, 2016).

En Costa Rica, los cambios en la disponibilidad de las aguas superficiales (Hannah *et ál.*, 2017) afectan principalmente a los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento en la región. Con respecto al recurso hídrico, Imbach *et ál.* (2012) afirman que existen posibles reducciones de la escorrentía (20 %) que se reflejarán en el 61 % de la región, e Hidalgo *et ál.* (2013) esperan que se presenten más sequías (Hannah *et ál.*, 2017).

Desde las últimas seis décadas los ecosistemas dulceacuícolas del centro y sur de Chile se ven afectados por la tendencia al decrecimiento de las precipitaciones (Quintana y Aceituno, 2012; ver también el **Capítulo 6**), lo cual puede

traer drásticas consecuencias en las funciones ecosistémicas terrestres y acuáticas, que están empezando a ser evaluadas.

El deshielo acelerado en los glaciares de la Patagonia y los Andes reducirá las capacidades de almacenamiento de agua y de retención de caudales pico de los ríos con su área de captación en zonas andinas. Sumando esto a una mayor periodicidad en la precipitación —prevista para muchas zonas de Sudamérica— y eventos El Niño y La Niña (ENOS) más severos, se espera que el deshielo acelerado de los Andes aumente el riesgo de mayores inundaciones y severos periodos de estiaje en todos los grandes ríos (Rabatel *et ál.*, 2012; Morera *et ál.*, 2017). Las llanuras aluviales y ciénagas dependientes de la lluvia, con una baja capacidad de amortiguación, sufrirán fuertes impactos y en las llanuras aluviales el riesgo de incendios aumentará a causa del mayor estrés por sequía, causando cambios en la composición de las comunidades de plantas y animales.

La pérdida de masas de hielo de los Andes tropicales (Barros y Albernaz, 2014) está teniendo dos tipos de efectos sobre los ecosistemas sensibles como el amazónico. En el corto plazo, esta pérdida causará un aumento en el caudal de los ríos. Sin embargo, este aumento inicial será seguido por un déficit de caudal, además de bajas considerables en el volumen de sedimentos conducidos hacia los ríos del Amazonas. Estos sedimentos son responsables de la enorme productividad de las llanuras aluviales debida a la alta concentración de nutrientes en suspensión presentes en las arcillas. En especial, los bosques que son inundados por aguas claras, cargadas de sedimentos abundantes en nutrientes —proveenientes, por ejemplo, de los Andes—, poseen suelos muy enriquecidos, mientras que bosques bajo la influencia de aguas oscuras —formadas en las llanuras aluviales y, por lo tanto, con menor concentración de nutrientes— poseen suelos menos fértiles (Honorio Coronado y Draper, 2017). Por otro lado, la dinámica propia de la erosión y el transporte de sedimentos inciden en la capacidad de almacenamiento de carbono de estos ecosistemas tanto superficial como subterránea (*ibíd.*).

Se puede resumir que los humedales tropicales pueden ser afectados de tres formas distintas por el cambio climático (Mitsch *et ál.*, 2010): cambios en los pulsos hidrológicos en las cuencas altas generando ecosistemas «intermitentes» y nuevas dinámicas ecológicas; cambios en patrones de precipitación local, que se suma a lo anterior, y cambios en temperatura/humedad y respectivos patrones de evapotranspiración influencia del nivel del mar y de tormentas, modificando los humedales costeros.

Las mayores modificaciones se darán en aquellos ecosistemas acuáticos que dependen de la migración de la franja de convergencia intertropical ITCZ, (Bernal Patiño, 2014) (ver **Capítulo 1**), si bien aquellos ubicados en los trópicos continuamente húmedos serán menos afectados. Los humedales sudamericanos más impactados serán aquellos con baja capacidad de amortiguación hídrica, ubicados en la franja templada. Allí, poblaciones enteras de organismos propios

de humedales pueden desaparecer ante un evento de sequía extremo: un año en que se presente un evento de El Niño fuerte, por ejemplo (Alho y Silva, 2012).

La biodiversidad puede verse afectada de varias formas por sequías intensas o inundaciones (Barros y Albernaz, 2014) (ver **Capítulo 5**). Los ecosistemas acuáticos, por su parte, a pesar de que sus especies han demostrado una gran elasticidad ecofisiológica a través de los siglos, enfrentarán cambios de temperatura más rápidos que los experimentados en periodos previos. Esta elasticidad, así como la amplia distribución de las especies de humedal, sin embargo, no evitará pérdidas y cambios en la composición de sus comunidades de organismos (Bond *et ál.*, 2008).

3.3. Caracterización de los riesgos y sus impactos

A continuación, se presentan los principales riesgos identificados para los ecosistemas terrestres y acuáticos en las regiones de los países de la RIOCC. La **Figura 3.2** presenta un resumen de los riesgos, con el factor climático determinante y una evaluación de la importancia y urgencia asociada al riesgo. Las presiones climáticas también pueden afectar a los ecosistemas de manera indirecta cuando los cambios ambientales impulsan a la población a convertir ecosistemas naturales a actividades productivas para compensar la pérdida de una superficie siniestrada o de una actividad productiva con actividades nuevas o aumentando la actividad productiva más segura (Lazos-Chavero *et ál.*, 2018).

3.3.1. Ecosistemas terrestres

En los ecosistemas terrestres, la sequía es uno de los principales factores limitantes del crecimiento y el reclutamiento de los árboles (Herrero y Zamora, 2014; Matías *et ál.*, 2012), afectando también a su supervivencia (Koepke *et ál.*, 2010). Diferencias interespecificas en estos parámetros pueden conducir a cambios en la composición de especies inducidos por la sequía (Suárez y Kitzberger, 2008). El calentamiento puede adelantar la actividad en animales y plantas, que son así más vulnerables a heladas tardías, y se pueden producir importantes desincronizaciones en las interacciones entre especies como plantas-polinizadores y plantas-herbívoros (Valladares *et ál.*, 2005).

Los cambios en los patrones de precipitación y eventos extremos de sequía están relacionados con los cambios en los regímenes de incendios que están afectando a los ecosistemas en varias regiones de los países de la RIOCC, resultando en una mayor pérdida de biomasa. El aumento previsto en la frecuencia e intensidad de las sequías en muchas regiones (IPCC, 2013; Trenberth *et ál.*, 2014) puede incrementar los efectos negativos en los ecosistemas terrestres, afectando así a algunos de los servicios ecosistémicos que estos pro-

veen, como el reciclaje de nutrientes, la fijación de CO₂ o la regulación del ciclo del agua.

Varias interacciones generan nuevos impactos: la sequía y los cambios en el uso del suelo, entre otros, alteran los recursos hídricos y conducen a la degradación de la tierra, la disminución de la regeneración de la vegetación y la expansión de las enfermedades forestales. Finalmente, diferentes factores pueden ocurrir solos o simultáneamente, lo que lleva a un mayor aumento en el riesgo de incendios, invasiones biológicas e incrementos en plagas forestales que incluyen defoliadores, muérdago y patógenos (CONAFOR, 2017).

3.3.1.1. Ecosistemas montanos

Hay evidencia de una rápida retirada y derretimiento de los glaciares andinos en la República Bolivariana de Venezuela, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y el Estado Plurinacional de Bolivia, que han perdido entre un 20 % y un 50 % de su superficie, en su mayoría desde finales de 1970, a medida que han ido aumentando las temperaturas (Magrin *et ál.*, 2014; Bradley *et ál.*, 2009). El glaciar Cotacachi en Ecuador ya ha desaparecido, y esto ha tenido impactos en los ecosistemas naturales y manejados (Vergara *et ál.*, 2009). En Colombia, la capa de hielo en el volcán Santa Isabel se ha reducido en un 44 %. En Chile, el glaciar San Quintín también se está reduciendo rápidamente (UNEP/CEPAL/GRID-Arendal, 2010) (ver **Capítulo 6**).

El derretimiento acelerado de los glaciares de la cordillera de los Andes puede generar por sí mismo grandes aluviones y grandes inundaciones por el reventón de lagos glaciares (*glacial lake outburst flood*) (Dussaillant *et ál.*, 2010; Palmer, 2017), causando una total destrucción de poblados y ecosistemas a su paso. Asimismo, se ha documentado un alto riesgo de avalanchas de nieve en áreas premontanas y montañosas en donde los bosques nativos pueden cumplir un servicio ecosistémico clave en la prevención del riesgo de desastres naturales, como es el caso de la Reserva de la Biosfera Nevados de Chillán (Casteller *et ál.*, 2017; Cortés-Donoso, 2017).

3.3.1.2. Bosques templados, subtropicales y tropicales

La reducción de los bosques de coníferas en México está asociada a los cambios proyectados de temperatura y precipitación (UK Met Office, INECC, 2013). Algunos estudios más sugieren pérdidas de cobertura forestal sobre todo en zonas templadas (Villers y Trejo, 1998), y pérdidas del 35 % de las selvas y del 18 % de los bosques (Manson y Jardel, 2009).

Los bosques en Centroamérica y el Caribe están compuestos de bosque latifoliado maduro, bosque de coníferas, bosque mixto, bosque de mangle, bosque o matorral seco y bosque latifoliado invertido. Estos representan el 40 % de la cobertura total forestal de la región y su mayor concentra-

Principales riesgos identificados	Factor climático determinante	Importancia	Urgencia	Extensión (regiones más afectadas)
<p>Riesgo de megaincendios forestales. Los cambios en los patrones de precipitación y eventos extremos de sequía están relacionados con los cambios en los regímenes de incendios que afectan a los ecosistemas en Iberoamérica, resultando en mayor pérdida de biomasa y extensión de bosques.</p>		●	●	
<p>Riesgo de desplazamiento de los bordes entre biomas. Los ambientes áridos son de especial riesgo por encontrarse en el límite de su nivel de precipitación. Además, sufren fuertes presiones de otros tipos por cambios en usos del suelo que incrementan la fragmentación y la vulnerabilidad a factores climáticos.</p>		●	●	
<p>Riesgo de pérdida de producción primaria en sistemas naturales y gestionados por incremento en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos y climáticos extremos. Consecuencias a corto plazo son resultantes de una producción reducida y efectos a más largo plazo son debidos a la degradación. En algunos casos, la combinación de sequía, sobreexplotación y especies invasoras resulta en daños irreversibles.</p>		●	●	
<p>Riesgo de reducción de las poblaciones arbóreas por la sequía que limita el crecimiento, reduce el reclutamiento y aumenta la mortalidad. Las condiciones de calentamiento pueden exacerbar los efectos sobre algunos de los servicios ecosistémicos que estos proveen, tales como el ciclado de nutrientes, la fijación de CO₂ o la regulación del ciclo del agua.</p>		●	●	
<p>Riesgo de pérdidas en las poblaciones animales y vegetales por heladas tardías debido al calentamiento que puede adelantar la actividad en animales y plantas. Se pueden producir importantes desincronizaciones en las interacciones entre especies, como plantas-polinizadores y plantas-herbívoros.</p>		●	●	
<p>Riesgo de pérdida de hábitats extremos en los ecosistemas de montaña debido a su naturaleza disyunta por calentamiento. El calentamiento afecta de forma desproporcionada a los paisajes de montaña, reconocidos como altamente vulnerables al cambio climático en comparación con las regiones de tierras bajas. Los ecosistemas más amenazados son el páramo pluvial subalpino y el bosque seco premontano.</p>		●	●	
<p>Riesgo de pérdida de hábitats en los sistemas acuáticos y palustres dependientes de glaciares debido al deshielo de estos. Pérdida de masa de los glaciares a un ritmo acelerado con importantes consecuencias para la disponibilidad local de agua y los ciclos hidrológicos regionales, incluyendo el suministro de agua para las tierras bajas adyacentes y más secas.</p>		●	●	
<p>Riesgo de pérdida de los glaciares que, en asociación con los cambios de uso del suelo, está contribuyendo a un mayor riesgo de inundaciones de lagos glaciares, humedales degradados y hábitats de pastizales, así como arroyos glaciares altamente acidificados. La importancia de los humedales alpinos va más allá del almacenamiento y la purificación del agua. Proporcionan un hábitat crítico para una variedad de especies de vida silvestre y plantas endémicas.</p>		●	●	

Figura 3.2. Principales riesgos identificados en el ámbito de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales. (Continúa en la página siguiente).

Principales riesgos identificados	Factor climático determinante	Importancia	Urgencia	Extensión (regiones más afectadas)
<p>Riesgo de pérdida de funcionalidad de los sistemas acuáticos por cambios en los pulsos hídricos. El cambio climático está afectando al pulso hidrológico de ríos y humedales, e impactando en la biodiversidad y los medios de vida. El diagnóstico previsible sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas de aguas continentales es un aumento de la temporalidad del flujo de agua y la intensificación de fenómenos hidrológicos extremos.</p>				
<p>Riesgo de pérdida de hábitats en sistemas expuestos a huracanes o inundaciones por exceder los regímenes de perturbación en su intensidad frente a las condiciones anteriores. Condiciones extremas y aumento de eventos catastróficos, como huracanes o inundaciones, podrían llegar a rebasar los umbrales fisiológicos de numerosas especies y afectar en consecuencia a las funciones ecosistémicas en las que estas especies participan.</p>				

Factor climático determinante:

- Aumento de la temperatura
- Aumento de la precipitación
- Disminución de la precipitación
- Temperaturas extremas
- Tormentas intensas y huracanes
- Inundación
- Sequía
- Subida del nivel del mar
- Acidificación del océano
- Cambios en la estacionalidad
- Fertilización por CO₂

Importancia. Se asignó uno de los siguientes niveles: poco importante, importante y muy importante en términos de la significación de sus impactos en los sistemas naturales o humanos, incluyendo el número de personas afectadas.

Urgencia. Se asignó uno de los tres niveles siguientes: inminente (que puede estar ocurriendo u ocurrir en cualquier momento), a medio plazo (que se espera que ocurra de aquí a mediados de siglo o cuando se exceda 1,5 °C), a largo plazo (que se espera que ocurra después de mediados de siglo o cuando se exceda de 2 °C de calentamiento).

Extensión:



Figura 3.2. Principales riesgos identificados en el ámbito de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales. Fuente: elaboración propia. (Continuación).

ción se localiza en Honduras, Costa Rica y Belice (REDD/CCAD-GIZ, 2015). Jiménez *et ál.* (2009) prevén que las superficies de bosque más afectadas estarán entre los pisos altitudinales premontano y montano, con cambios entre el 36,1 % y el 62,7 % de su área. La evolución general de los bosques se direcciona hacia pisos altitudinales más altos y se explica por la disminución esperada de las precipitaciones y el aumento de la temperatura en la región (Hannah *et ál.*, 2017). Por ejemplo, áreas catalogadas como muy húmedas pasarían a ser húmedas, y áreas húmedas pasarían a ser secas. Se espera que los ecosistemas más amenazados sean el páramo pluvial subalpino (cambios en el 78,8 % de su área) y el bosque seco premontano (cambios en el 62,7 % de su área) (Jiménez *et ál.*, 2009).

Las consecuencias del cambio climático proyectadas sobre la distribución de los bosques tropicales y sabanas —dos biomas predominantes en América del Sur— con escenarios climáticos a partir de 15 modelos climáticos (Salazar *et ál.*, 2007) indican una reducción de las áreas de bosque tropical que serían reemplazadas por sabanas. Esta reducción de

los bosques tropicales aumenta con el tiempo hasta fines del siglo XXI, principalmente en el sudeste de la Amazonia. Teniendo en cuenta los cambios en el bioma de la vegetación potencial actual en el caso de que al menos el 75 % de los cálculos coincidan con el cambio del bioma proyectado (consenso), la disminución del área con condiciones climáticas de bosque tropical en América del Sur es del 3 % para el periodo 2020-2029, 9 % para 2050-2059 y 18 % para 2090-2099 para el escenario de emisiones más elevadas.

El bosque atlántico neotropical en el sudeste de América del Sur soporta una de las riquezas de especies y tasas de endemismo más altas del planeta, pero también ha sufrido una gran pérdida de cobertura y presenta una sensibilidad considerable a los cambios en el clima por su estratificación por la altitud. Las especies endémicas de esta área candente (*hotspot* de biodiversidad) no encontrarán refugio por los cambios del ambiente, ya que no tienen hacia dónde subir más allá de las zonas escarpadas en sus tierras características, con elevada vulnerabilidad a la extinción local (Scarano y Ceotto, 2015). Ribeiro *et ál.* (2009) indicaron que más

del 80 % de los fragmentos son < 50 ha, casi la mitad del bosque restante está a < 100 m de sus bordes, la distancia promedio entre los fragmentos es grande (1.440 m) y las reservas naturales protegen solo el 9 % el bosque restante y el 1 % del bosque original.

3.3.1.3. Ecosistemas estacionales y secos

Los ambientes áridos son de especial riesgo por encontrarse en el límite de su nivel de precipitación. Además, sufren fuertes presiones de otros tipos por cambios en los usos del suelo que incrementan la fragmentación y la vulnerabilidad a factores climáticos.

La naturaleza transicional de la cuenca del Mediterráneo entre climas templados y áridos implica un riesgo de cambio irreversible del ecosistema hacia estados más áridos. Sin embargo, las combinaciones entre factores conducen a una alteración impredecible del ecosistema que va más allá de las consecuencias particulares de la sequía (Doblas-Miranda *et ál.*, 2017).

Los modelos climáticos sugieren que el calentamiento global podría traer condiciones más cálidas y secas a México, sobre todo en el norte del país (UK Met Office, INECC, 2013). Aunque algunos modelos proyectan aumentos de precipitación, en la mayoría de los casos no compensan los aumentos en la evaporación potencial. Por lo tanto, la humedad del suelo y la disponibilidad de agua pueden disminuir en gran parte de México, con graves consecuencias para los ecosistemas (Wehner *et ál.*, 2011; Cavazos *et ál.*, 2013). El noroeste de México (zona de vida de estepas secas) se encuentra entre las regiones más vulnerables del país al cambio climático. En particular, bajo escenarios de calentamiento global, se espera que los estados de Baja California y Sonora muestren los mayores aumentos de temperatura en el transcurso de este siglo (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2012).

Los ecosistemas secos o con sequías estacionales (como pastizales secos, matorrales, sabanas y desiertos fríos y cálidos) cubren el 33 % del área total en América del Sur (Yahdjian y Sala, 2008). El cambio climático afecta negativamente a esos ecosistemas de dos maneras: reduciendo la disponibilidad promedio de agua y aumentando la variabilidad de la precipitación. Se espera que los aumentos previstos en la frecuencia e intensidad de eventos extremos afecten a la precipitación efectiva y a la producción primaria. Los aumentos en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, donde los años secos sean más comunes y aún más pronunciados, pueden provocar una mayor variabilidad de producción entre años, con consecuencias negativas en la producción de forraje y en la estabilidad de la producción ganadera. Las sequías extremas tienen consecuencias a corto plazo resultantes de una producción reducida y del efecto a más largo plazo del sobrepastoreo. En algunos casos, la combinación de sequía y sobrepastoreo ha resultado en daños irreversibles cuando los ecosistemas han cambiado a otro estado (Yahdjian y Sala, 2008).

3.3.2. Ecosistemas acuáticos

El cambio en la temperatura del agua incide sobre la solubilidad del oxígeno. De darse un aumento en la temperatura del agua junto a la alta demanda de oxígeno que hay en las llanuras aluviales, la concentración de oxígeno puede reducirse. Esto puede generar episodios hipóxicos o anóxicos que pueden ser devastadores para muchos ecosistemas, causando mortandad en masa, extinción de comunidades bentónicas, declive en la producción de las pesquerías y pérdidas de biodiversidad (Almeida-Val *et ál.*, 2006; Barros y Albernaz, 2014).

El patrón estacional de variación de caudal de los ríos está volviéndose cada vez menos previsible como consecuencia del cambio climático. Hasta hoy, el carácter regular y previsible de este patrón estacional —conocido como pulso hidrológico— ha sido considerado el responsable de la existencia, productividad y adaptación de la biota a las fases secas y acuáticas de humedales y llanuras aluviales. El cambio climático está afectando al pulso hidrológico de ríos y humedales, impactando en la biodiversidad y los medios de vida. El diagnóstico previsible sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas de aguas continentales es un aumento de la temporalidad del flujo de agua y la intensificación de fenómenos hidrológicos extremos. Los ríos de orden menor sufrirán fuertes cambios de caudal y de pulso hidrológico entre las épocas seca y lluviosa, así como fuertes oscilaciones de dicho pulso durante eventos de lluvia extremos. Por tanto, en zonas con estaciones secas más extensas, estos ríos menores pueden dejar de ser permanentes y volverse intermitentes afectando drásticamente a la biodiversidad.

La pérdida de los glaciares y los cambios de uso del suelo están contribuyendo a un mayor riesgo de inundaciones de lagos glaciares, humedales degradados y hábitats de pastizales, así como arroyos glaciares altamente acidificados. La importancia de los humedales altoandinos va más allá del almacenamiento y la purificación del agua. Proporcionan un hábitat crítico para una variedad de especies de vida silvestre y plantas endémicas (Ruthsatz, 2008, 2012).

Por su parte, la elevación del nivel del mar afectará a los humedales a lo largo de las partes bajas de muchos de los ríos más grandes por extensión de los impactos de las mareas río arriba, modificando así la flora y la fauna.

De subir el mar 100 cm, la mitad de los humedales designados como de importancia internacional por la Convención de Ramsar estarían en peligro (Nicholls, 2004). De igual forma, si el ascenso del nivel del mar no es acompañado por la acumulación vertical de sedimentos, las ciénagas costeras y manglares se desintegrarían gradualmente producto de una mayor inundación y erosión y por no disponer de espacio para desplazarse tierra adentro. Sin embargo, aún existe poca información sobre la relación entre ecosistemas costeros y pulsos hidrológicos (Hernandez-Guzmán *et ál.*, 2016).

Para la Península Ibérica, las últimas proyecciones muestran que los escenarios de cambio climático más extremos

son cada vez más probables (Koutroulis *et ál.*, 2018). Se prevé que la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura no solo reducirán la cantidad de agua disponible, sino que intensificarán la competencia por el agua entre distintos sectores productivos (IPCC, 2014). Los ecosistemas de aguas continentales (ríos, lagos y humedales) y los servicios ecosistémicos que proveen se ven particularmente afectados. De hecho, la evaluación de los ecosistemas del milenio llevada a cabo en España en el año 2011 (EME, 2011) detectó que el 67,8 % y el 65 % de los 22 servicios ecosistémicos proporcionados por humedales de interior y ríos y riberas españoles, respectivamente, se estaban degradando o usando de manera insostenible, siendo los de regulación y los culturales relacionados con el conocimiento y gestión local los más perjudicados. Resultados similares se obtuvieron en la evaluación realizada en Portugal para los ecosistemas acuáticos de interior (Pereira *et ál.*, 2009). El último informe del IPBES para Europa y Asia Central (IPBES, 2018b) señala explícitamente que los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y las contribuciones de la naturaleza a la sociedad se están incrementando rápidamente y en un futuro próximo serán uno de los conductores de cambio más importantes.

Los efectos del cambio climático sobre las comunidades biológicas y los procesos ecológicos están bien documentados (por ejemplo, Palmer *et ál.*, 2009; Acuña y Tochner, 2010; Benitez-Gilabert *et ál.*, 2010; Aldous *et ál.*, 2011; Boyero *et ál.*, 2011). En relación con las comunidades biológicas, se espera una disminución, e incluso desaparición, de especies endémicas de invertebrados adaptadas al frío (criófilas) y una mayor colonización y dispersión de especies termófilas (Bruno *et ál.*, 2019). Además, el calentamiento de las masas de agua puede limitar en pocas décadas la distribución de las comunidades piscícolas, sobre todo en los tramos bajos de los ríos (Almodovar *et ál.*, 2012). En cuanto a los procesos ecológicos, el aumento de la temperatura del agua incrementará la producción primaria, que junto con una mayor cantidad de nitratos y de carbono orgánico particulado y disuelto procedentes de la cuenca, favorecerá el desarrollo de comunidades bacterianas (Alvarez *et ál.*, 2005) y activará el metabolismo interno del carbono orgánico (Acuña y Tochner, 2010), acelerando los procesos de descomposición del material orgánico.

3.4. Actividades de adaptación planificada

Las medidas de adaptación para los ecosistemas deben incluir acciones para reducir la exposición a factores de estrés no climáticos, especialmente la recuperación de vegetación nativa y el establecimiento de áreas protegidas, actuaciones para promover la utilización de escenarios futuros de cambio climático durante el desarrollo y planificación de políticas de conservación de uso sostenible.

La adaptación basada en los ecosistemas (AbE) aparece como una posibilidad que reúne la adaptación al cambio climático y la gestión de áreas naturales. Los ecosistemas naturales protegidos son fundamentales para aumentar la resiliencia de la biodiversidad y de la sociedad frente a los impactos causados por el cambio climático. Dichos ecosistemas tienen más capacidad de resistencia y resiliencia cuando se ven afectados por situaciones climáticas extremas, además de proporcionar una amplia gama de beneficios de los que depende la humanidad, conocidos como servicios ambientales. A pesar de este papel predominante, los estudios que informan sobre los cambios en el clima y las alternativas de adaptación basadas en los ecosistemas naturales siguen siendo escasos (Fundação Grupo Boticario, 2015).

A continuación, se presentan algunas experiencias de países iberoamericanos con el diseño e implementación de planes de adaptación en diferentes escalas para el sector de ecosistemas y biodiversidad, así como ejemplos de adaptación basada en los ecosistemas (**Figura 3.3**).

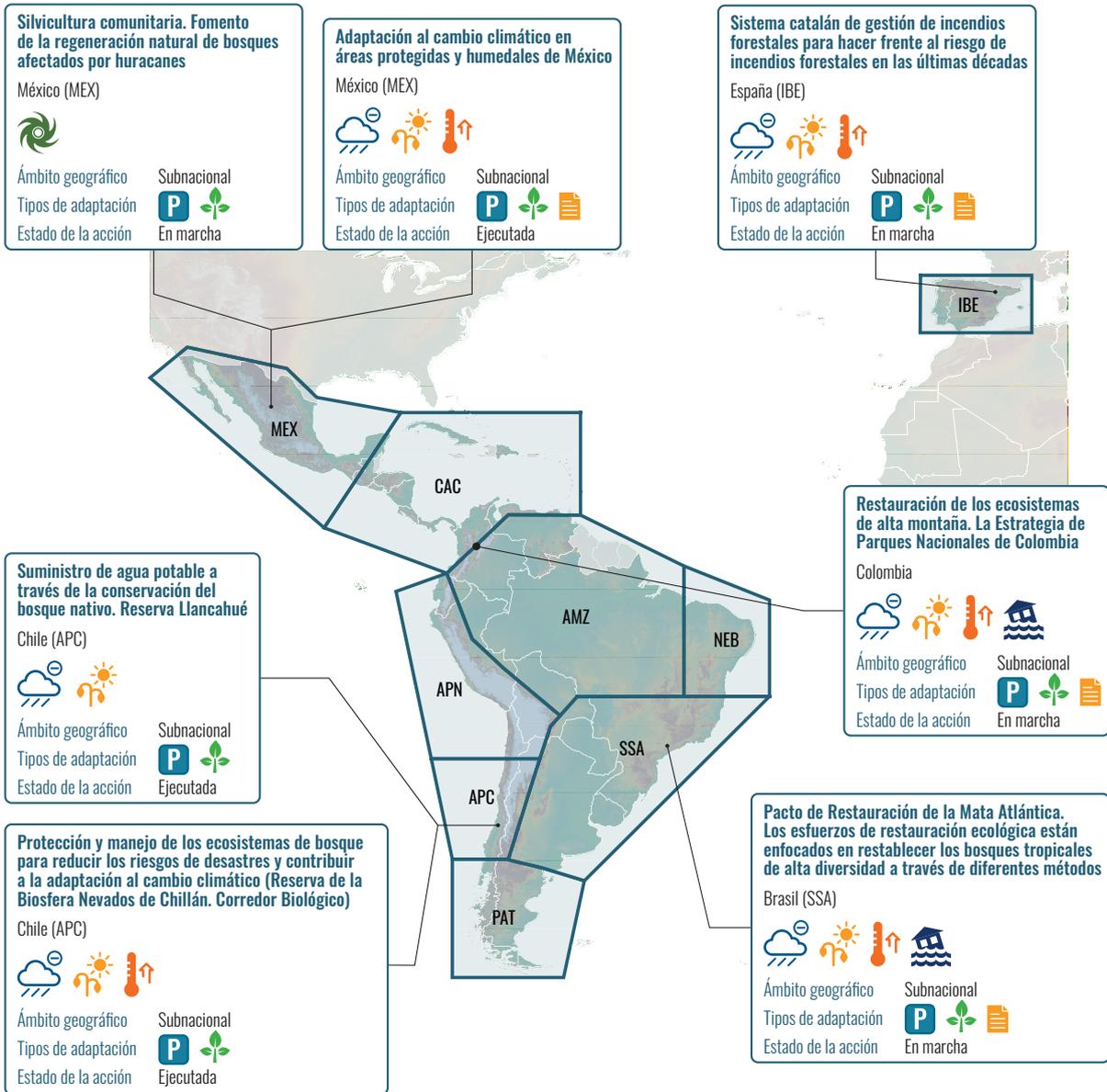
Sin embargo, es importante señalar que mientras los planes nacionales de adaptación han avanzado en la estrategia gubernamental para la adaptación al cambio climático, las medidas, los instrumentos y los programas existentes aún no reflejan la visión socioecológica necesaria para entender la vulnerabilidad integrada de los ecosistemas y las poblaciones humanas asociadas a ellos. La coordinación de las Administraciones y el avance en la gestión adaptativa del manejo de los ecosistemas son aún poco significativos. Las brechas principales que se han documentado son la falta de recursos financieros estables y la escasez de conocimiento científico sobre la problemática de adaptación de los ecosistemas frente al cambio climático.

3.4.1. Escala supranacional

Los impactos del cambio climático descritos hasta el momento son una «muestra de la vulnerabilidad de los ecosistemas para continuar generando servicios ecosistémicos en la calidad y cantidad acostumbradas» (Maglianesi, 2016). En respuesta a esta vulnerabilidad se han desarrollado enfoques como la adaptación basada en ecosistemas (AbE), que combinan el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para la conservación, restauración y el manejo sostenible de los ecosistemas (Conservation International, 2018). Algunas de las actividades desarrolladas bajo el enfoque de AbE son: i) conservación y establecimiento de áreas protegidas, ii) corredores ecológicos, iii) conservación de semillas, y iv) integración de la comunidad para el establecimiento de sistemas agropecuarios, entre otros (Noble *et ál.*, 2014; UICN, 2012), citados en Magrin, 2015.

En América Central y el Caribe existen iniciativas de AbE. A continuación, se presentan algunas de ellas:

- 1) Cambio de sistema en la tala y quema y conversión a la agrosilvicultura, liderado por la FAO junto con los Gobiernos de Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador,



Factor climático determinante:

- Aumento de la temperatura
- Aumento de la precipitación
- Disminución de la precipitación
- Temperaturas extremas
- Tormentas intensas y huracanes
- Inundación
- Sequía
- Aumento del nivel del mar
- Acidificación del océano
- Cambios en la estacionalidad
- Fertilización por CO₂

Regiones:



Tipos de adaptación:

- P** planificada, esto es, si es el resultado de decisiones políticas deliberadas; autónoma, esto es, si se realiza normalmente por individuos, comunidades o entes privados;
- A** dura (mediante infraestructuras o aplicaciones tecnológicas); blanda (acciones políticas, sociales, formativas, etc.); verde (acciones basadas en los ecosistemas).

Figura 3.3. Mapa de acciones de adaptación implementadas en el ámbito de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales.
Fuente: elaboración propia.

desde el año 2000. Con este proyecto se quiere reemplazar el sistema tradicional de tala y quema e implementar los sistemas agroforestales, que son considerados más eficientes y resilientes (Magrin, 2015).

- 2) Café y Agricultura de Subsistencia en Centroamérica y la Adaptación basada en Ecosistemas (CASCADA), liderado por Conservation International (CI) y CATIE con la colaboración del Centre de Coopération Internatinal en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) y Biodiversity International. El objetivo de esta iniciativa es contribuir a la adaptación al cambio climático de los métodos productivos de los pequeños agricultores mediante la identificación e implementación de estrategias de AbE en países como Costa Rica, Honduras y Guatemala (Magrin, 2015).
- 3) Community-based Risk Screening Tool. Adaptation and Livelihoods (CRISTAL) (Herramienta para la Identificación Comunitaria de Riesgos. Adaptación y Medios de Vida) es un instrumento de evaluación que ayuda a integrar la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático en proyectos a nivel comunitario por parte de quienes los planifican y administran. Este proyecto incluye a países como Costa Rica, República Dominicana, Guatemala, Haití, Honduras y Nicaragua (Magrin, 2015).

Los posibles impactos del cambio climático descritos evidencian los efectos negativos en cuanto a la pérdida de ecosistemas y especies endémicas únicas de la región. Lo anterior hace necesario un abordaje integral con acciones a escala territorial a través de enfoques como la AbE, ya que las consecuencias a nivel regional y global son, en su mayoría, irreversibles. Es importante considerar que en Centroamérica y el Caribe gran parte de sus sistemas productivos se basan en la agricultura y en el uso de los recursos naturales y, adicionalmente, que los impactos esperados trascenderán de manera importante a las esferas económicas y sociales. Por tal razón, se hace necesaria la implementación de estrategias participativas (comunidades, gobiernos, organizaciones, etc.) de adaptación que promuevan un desarrollo resiliente al cambio climático en la región.

3.4.2. Escala nacional

A continuación, se indican algunos ejemplos de actividades de adaptación planificada a escala nacional, por países.

3.4.2.1. Brasil

Brasil ha tomado la delantera en el diseño e implementación de políticas climáticas en Latinoamérica con la adopción del Plan Nacional de Cambio Climático (PNMC) en 2008 y su ley de cambio climático, la Política Nacional sobre Cambio Climático, en 2009. Estas regulaciones definieron los objetivos, sectores prioritarios para mitigación y adaptación y mecanismos financieros necesarios. Los sistemas de uso del suelo, la agricultura y la silvicultura están en el centro de estas

políticas, debido a su vulnerabilidad al cambio climático, así como su contribución potencial a los esfuerzos de mitigación. En 2016, Brasil lanzó su primer Plan Nacional de Adaptación (PNA). El proceso del PNA de Brasil implicó amplias consultas con los participantes, incluidas 18 organizaciones federales, comunidades científicas, comunidades tradicionales y el sector privado. El Ministerio del Medio Ambiente organizó 197 reuniones técnicas y recibió más de 500 contribuciones en dos procesos de consulta pública. La implementación del PNA implica los objetivos a mediano plazo establecidos para 2019, aplicando técnicas de adaptación basadas en los ecosistemas en los 11 sectores económicos que aborda el plan. El PNA prevé un ciclo de ejecución de cuatro años, con una importante revisión durante el último año del ciclo actual. El plan describe 24 objetivos y 136 directrices, incluidas estrategias intersectoriales y sectoriales dirigidas a establecer las bases institucionales, metodológicas y científicas para la gestión y la reducción de los riesgos asociados con el cambio climático.

3.4.2.2. Chile

En el año 2014, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) chileno, en su Departamento de Cambio Global, basándose en los lineamientos y estrategias del Plan Nacional de Acción de Cambio Climático 2008-2012 (PANCC-I, CONAMA, 2008), publicó las bases y estrategias de acción sectoriales en el Plan de Adaptación al Cambio Climático que permitan minimizar los impactos negativos del cambio global en la economía y el desarrollo del país. Los sectores productivos considerados en la actualidad son 9, y uno de ellos es el denominado Plan de Adaptación al Cambio Climático en Biodiversidad (MMA, 2014), cuyas líneas de acción se insertan en la problemática de este capítulo. En su objetivo específico n.º 4 se explicita la «implementación de medidas de adaptación al cambio climático a nivel de ecosistemas y especies, en ambientes tanto terrestres como marinos». La estrategia de acción se encuentra organizada en 50 medidas representadas en «fichas» en las que se detallan el objetivo de la medida, la cobertura, plazos de implementación, los resultados, posibles fuentes de financiamiento, instituciones responsables y socios colaboradores. De acuerdo con el último informe del Plan de Acción de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II, MMA, 2016), de las 50 fichas del PANCCB se han implementado el 37 %. En el presente trabajo se muestran 8 ejemplos (**Tabla 3.1**) de estrategias de adaptación en ecosistemas degradados y vulnerables. Algunos de ellos, como son los casos del Cerro Cayumanque y las Reservas de la Biosfera Nevados de Chillán y Torres del Paine, son parte de las 50 fichas de acción del PANCCB. Sin embargo, existen numerosas iniciativas de reforestación de empresas madereras privadas y de empresas mineras que, como respuesta a exigencias ambientales y a modo de compensación, poseen programas de restauración forestal que incluyen la mantención de viveros y talleres ambientales educativos dirigidos a la comunidad. La información de diversas iniciativas públicas y privadas y aplicadas a dife-

Tabla 3.1. Ejemplos de adaptación de ecosistemas forestales en Chile.

N.º	Nombre	Tipo de bosque	Impacto sobre el ecosistema	Ubicación	Años duración del programa	Adaptación para el ecosistema	Medidas de adaptación de la sociedad	Evaluación/ monitoreo del respectivo programa	Unidad ejecutora principal/ referencias
1	Sierras de Bellavista (La Rufina)	Bosque esclerófilo-deciduo, ciprés de la cordillera	Fuego año 1999; 25.000 ha	34°47'S 70°36'W	1999-2001	Reestablecer flujos hidrológicos, control de la erosión, reducción del riesgo de aluviones, estabilización de laderas.	Capacitación de la población local en labores de conservación de suelos.	Objetivos logrados en un 100 % en estabilización de laderas y control de la erosión. Reforestación con especies nativas; sin embargo, domina la regeneración espontánea de especies arbóreas exóticas.	CONAF; Lemus et ál., 2016
2	Cerro Cayumanque	Siempreverde laurifolio y bosque esclerófilo-deciduo	Fuego año 2012; 28.000 ha	36°42'S 72°31'W	2012-2018	Restauración de ecosistemas y sus servicios. Reforestar 500 ha con especies nativas obtenidas de semillas del mismo sector.	Educación ambiental, talleres escolares. Desarrollar la capacidad de la comunidad local para colaborar en restauración, preservar el ecosistema y prevenir daños futuros.	Hasta septiembre 2017, 60 % de avance en la restauración; 200 ha plantadas con diversas especies de árboles nativos.	INFOR, CONAF, SEREMI-Medio Ambiente
3	Parque Nacional Torres del Paine	Bosque subantártico	Fuego años 2011-2012, 17.606 ha	50°45'S-51°20'S 72°31'-43°22'W	2012-...	Reforestación y restauración de ecosistemas y paisaje.	Actividades y enseñanza de técnicas de reforestación para escolares de colegios de la región. Divulgación en la prensa de estas actividades.	Tasas de establecimiento promedio de un 20-30 % llegando en algunos casos hasta un 80 %. Se ha priorizado en <i>Nothofagus pumilio</i> , ya que presenta mayor dificultad en la regeneración (baja resiliencia) en relación con <i>Nothofagus antarctica</i> .	CONAF-Región de Magallanes; Larson et ál., 2016
4	Parque Tantauco, Chiloé	Bosque norpatagónico de <i>Pilgerodendron uviferum</i>	Fuego años 1942-1944, uso de leña; 100 ha	43°10'S 74°05'W	2010-2015	Silvicultura sustentable, restauración, reforestación.	En el parque se realizan talleres de enseñanza de la ciencia dirigidos a escolares de la región.	Área de estudio = 20 ha. Evaluación de establecimiento y crecimiento de plántulas con distintos tratamientos silviculturales.	INFOR; Bannister, 2015
5	Cuenca Llancahue	Bosque lluvioso valdiviano	Sustitución del bosque nativo, manejo no sostenible, incendios, pastoreo intensivo; 1.300 ha	39°51'S 73°08'W	2008-...	Recuperación de servicios ecosistémicos (caudal hídrico) y conservación de la biodiversidad a través de una silvicultura sustentable. Los ríos de la cuenca de Llancahue abastecen de agua potable a la ciudad de Valdivia (166.000 habitantes).	Capacitación de las comunidades aledañas en el uso del agua. Educación ambiental. Gestión conjunta del territorio. Manejo coadaptativo de ecosistemas nativos. Componente social en el proyecto.	Indicadores socioeconómicos. Evaluación del flujo y calidad hídricos, bajo distintos manejos silviculturales.	Universidad Austral de Chile; Donoso et ál., 2014

(Continúa en la página siguiente)

Tabla 3.1. (Cont.). Ejemplos de adaptación de ecosistemas forestales en Chile.

N.º	Nombre	Tipo de bosque	Impacto sobre el ecosistema	Ubicación	Años duración del programa	Adaptación para el ecosistema	Medidas de adaptación de la sociedad	Evaluación/ monitoreo del respectivo programa	Unidad ejecutora principal/ referencias
6	Reserva de la Biosfera Nevados de Chillán. Corredor Biológico	Bosques andinos-patagónicos	Avalanchas, sequía, incendios forestales. Área de la reserva: 565.807 ha	36°50'S 71°23'W	2013-2018	Estudiar de qué forma los bosques nativos protegen de las avalanchas de nieve y deslizamientos de tierra.	Fortalecimiento de capacidades. Comunicación y plataforma de diálogo multisectoriales. Interacción con el conocimiento de los pueblos indígenas.	Las evidencias científicas reportan que el bosque efectivamente protege contra el impacto de las avalanchas; sin embargo, se desconoce si existen programas de restauración en áreas vulnerables a las avalanchas. Se realizó un taller de síntesis dirigido a políticas públicas de los sectores involucrados.	UICN/EPIC; Casteller et al., 2017; Cortés-Donoso et al., 2017
7	Bosque Modelo Panguipulli	Bosque siempreverde montano. valdiviano-norpatagónico	Uso forestal no sostenible; 329.200 ha afectadas	39°30'S-40°S 72°30'W-72°W	2011-2015	Silvicultura adaptada al cambio climático, planificación territorial, preservación de servicios ecosistémicos.	Participación de comunidades indígenas, reforestación con productos forestales nomaderables (árboles melfíferos), talleres escolares de educación ambiental.	Se obtienen índices de vulnerabilidad y capacidad de adaptación para los distintos tipos forestales. Se obtienen vulnerabilidad baja, capacidad adaptativa media.	CLIMFORAD; INFOR; Rojas et al., 2016
8	Cordillera de Nahuelbuta	Bosque de Araucaria araucana	Fragmentación por tala de bosque, incendios para transformar el uso del suelo, carbón y leña, cosecha inadecuada de semillas; ~ 53 ha	38°29'S 73°15'W	1999-2014	Rehabilitación del bosque de Araucaria a través de la exclusión de herbivoría y establecimiento de plántulas.	Talleres de educación ambiental y capacitación de la comunidad regional en reforestación.	Tasa de sobrevivencia de plántulas de hasta ca. 80 %. Mayor riqueza de especies en los bosques de Araucaria que en las plantaciones de <i>Pinus radiata</i> .	Universidad Austral de Chile; Universidad de Temuco, Chile; Cortés Bianchi, 2017

rentes escalas de paisaje, se encuentra disponible *on-line*, mediante un Geoportal, en el Registro Nacional de Iniciativas de Restauración Ecológica y Acciones de Recuperación del MMA. El acceso a este Geoportal se encuentra vinculado a la Red Chilena de Restauración Ecológica en su página web (Restauramos Chile, 2019).

3.4.2.3. México

El Gobierno mexicano ha creado desde 2012 el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012) y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) para articular las acciones establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Asimismo, dispuso los compromisos de México de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030 en la Cumbre Climática de Nueva York en 2014 (Compromisos 2020-2030). En esos documentos se expresa como una de las prioridades para la adaptación al cambio climático el aumentar la resiliencia de los ecosistemas con las siguientes metas y acciones:

- Llegar a una tasa de deforestación cero para el 2030.
- Impulsar la adquisición, adecuación e innovación para la recuperación de suelos.
- Reforestar cuencas altas, medias y bajas con especies nativas.
- Incrementar la conectividad ecológica y la captura de carbono mediante reforestación y restauración.
- Crear sinergias con acciones REDD+.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México (CONANP) cuenta con la herramienta Guías para la Elaboración de Planes de Adaptación al Cambio Climático (PACC) en Áreas Protegidas (CONANP *et ál.*, 2011). Estas guías describen procedimientos probados que pueden ajustarse a condiciones particulares para diseñar e implementar actividades de adaptación que contribuyan a la conservación y manejo de la biodiversidad, así como al mantenimiento de

los servicios ambientales que benefician a las comunidades humanas.

En la Región Noreste y Sierra Madre Oriental, en los paisajes del Altiplano mexicano y del Gran Desierto Chihuahuense de la cuenca del río Bravo en el norte de México, el Complejo Cuatrociénegas alberga al sitio Ramsar Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, considerado uno de los humedales más importantes de México. En la formulación del PACC de Cuatrociénegas, se utilizó un enfoque multiescala que permitió usar la siguiente información: (i) regional, con datos de tendencias históricas, escenarios de cambio climático y análisis de vulnerabilidad multiescalar; (ii) escala de complejidad, en la que se registraron los objetos de conservación, y (iii) escala local, en la que se identificaron los impactos del cambio climático en las actividades productivas de las comunidades. El análisis del PACC condujo a la identificación y priorización de una serie de medidas de adaptación para los objetos de conservación, las cuales van acompañadas de un portafolio de inversión que muestra los recursos necesarios para su implementación. Como ejemplo, las tres medidas que el análisis multicriterio arroja como prioritarias para Cuatrociénegas son: (i) recuperar los niveles originales de los cuerpos de agua; (ii) restaurar en su parte acuática y terrestre los sistemas de humedales degradados; y (iii) alinear políticas públicas e instrumentos relativos al uso y manejo del agua superficial y subterránea y recursos asociados de los humedales del Área Natural Protegida. Estas tres medidas requieren una inversión estimada en 32,6 millones de pesos mexicanos (CONANP, 2014).

Aunque los documentos que plantean la estrategia gubernamental para la adaptación al cambio climático reflejan paulatinamente una mayor integración del componente socioeconómico, en el área de conservación y restauración de ecosistemas los instrumentos y los programas que se han implementado solamente reflejan el componente biofísico/ecológico (**Tabla 3.2**).

Un gran reto para los próximos años, aparte de los vacíos y limitantes que se mencionan en la **Tabla 3.2**, es lograr concretar esa integración socioecológica para ubicar las

Tabla 3.2. Medidas y programas propuestos para la adaptación al cambio climático en el área de conservación y restauración de ecosistemas en México. Fuentes: SEMARNAT e INECC, 2012.

Medidas preventivas	Medidas reactivas	Instrumentos para las políticas públicas (algunos transversales)	Programas (algunos transversales)	Vacíos y limitantes de las medidas de adaptación
Silvicultura comunitaria. Programas especiales de restauración, regeneración, protección. Diversificación productiva de bosques. Comercialización de productos forestales certificados. Certificación forestal.	Fomento de la regeneración natural de bosques afectados por huracanes. Evaluación de incendios forestales y programas de restauración. Reservas de agua.	Áreas protegidas. Corredor Biológico Mesoamericano. Estrategia de biodiversidad. Estrategia de especies invasoras. Estrategia de manejo de tierras. Reservas de agua.	Protección de incendios. Pago por servicios ambientales. Conservación y restauración de suelos. Alianza México resiliente. México próspero.	Requieren armonización del marco legal. Falta de evaluación del impacto de las políticas públicas. Resolver conflictos entre sectores. Falta de financiamiento y de variedad en las fuentes.

medidas de adaptación más viables y pertinentes. Otro gran reto es establecer las sinergias con otros programas como REDD+, pero con la diferenciación entre la mitigación y la adaptación, que se mencionan casi siempre asociadas, sin necesariamente estar asociadas, y sin establecer las relaciones funcionales entre ambas acciones (Margaret Skutsch, UNAM, com. personal).

3.4.2.4. Costa Rica

Ante la vulnerabilidad que presentan los humedales de Costa Rica, el Programa Nacional de Humedales del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), a través del Proyecto Humedales (SINAC/PNUD/GEF), ha iniciado la implementación de una serie de medidas de adaptación a la variabilidad y al cambio climático con el fin de aumentar la resiliencia de estos ecosistemas (Leal Rivera *et ál.*, 2018; Corrales y Murillo, 2018; Córdoba *et ál.*, 2018).

En el caso del Humedal Protegido de Importancia Internacional Palo Verde (HIIPV), se han identificado varios impactos previsible del cambio climático, como (i) cambio en el patrón de incendios, (ii) cambio en la disponibilidad de agua para fauna silvestre, (iii) cambio en la dinámica de especies invasoras y (iv) cambios en la dinámica hidrológica. El conjunto de actuaciones propuestas abarca desde medidas blandas (manejo del fuego, sensibilización de actores) hasta medidas estructurales (construcción de compuertas para el agua, instalación de trampas para sedimentos y de tanques para cosecha de agua, además de ampliación de cauces). En cuanto a las acciones basadas en ecosistemas, estas giran alrededor de la restauración de los sistemas hídricos en el sector Catalina del HIIPV y en abrir espejos de agua que generen condiciones adecuadas para la avifauna. De este modo se pretende devolver la estacionalidad al sistema hídrico y generar condiciones óptimas para la biodiversidad. Muchas de estas medidas han sido desarrolladas de forma participativa junto con los actores locales, quienes comprenden el valor de los servicios ambientales de los humedales y participan activamente en su restauración.

Para el Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNTS, Sitio Ramsar) y de acuerdo con los escenarios de cambio climático, se preparó una matriz de acciones de adaptación dentro de las siguientes medidas: a) conservación de la biodiversidad en el sistema hídrico para complementar o reemplazar áreas degradadas por el cambio climático y rehabilitar humedales vulnerables a la variabilidad; b) inversión en prácticas preventivas y de control de incendios forestales en ecosistemas de humedal, y c) gestión intersectorial del territorio para reducir la erosión en el sistema hídrico y la sedimentación de los ecosistemas de humedal.

Las acciones de adaptación a la variabilidad climática son principalmente de carácter blando y se concentran en el mejoramiento de las capacidades de adaptación del personal del HNTS y en la reducción de amenazas a la integridad de los sistemas hídricos de los distintos ecosistemas del HNTS.

Como ejemplos se pueden mencionar actuaciones relacionadas con el mejoramiento de la gestión de fuego especialmente alrededor de la laguna de Sierpe, uno de los ecosistemas de agua dulce más importantes del HNTS. Estas acciones se dirigen a (i) evitar daños por erosión, sedimentación y contaminación del agua generados por las actividades agropecuarias, y (ii) crear alianzas estratégicas y abrir el diálogo con los sectores productivos en las áreas aledañas y dentro del HNTS, incluido el sector turismo. Todas estas acciones se han trabajado de forma participativa con el personal del sitio Ramsar.

3.4.2.5. España y Portugal

Los Planes Nacionales de Adaptación al Cambio Climático de España (PNACC) (Oficina Española de Cambio Climático, 2008) y Portugal (ENAAC) surgen en el marco de la Estrategia Europea de Adaptación de 2013 (EEA, 2013), cuyo principal objetivo es construir una Europa más resiliente frente a los impactos y mejor adaptada al cambio climático (Oficina Española de Cambio Climático, 2014). Tanto en España (Oficina Española de Cambio Climático, 2008, 2011, 2014) como en Portugal (Agência Portuguesa do Ambiente, 2013) los programas de trabajo desarrollados destacan el recurso hídrico, pero no los ecosistemas acuáticos, como el factor clave para el desarrollo de muchos sectores socioeconómicos y elemento central que condiciona el buen estado de muchos sistemas ecológicos.

Los planes nacionales constituyen el marco de coordinación entre las Administraciones públicas y, en su caso, privadas para desarrollar las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. En España se desarrolla en 4 ejes de acción (generación de conocimientos; integración de la adaptación; movilización de actores clave, y elaboración de un sistema de indicadores de los impactos y la adaptación al cambio climático) basados en 2 pilares fundamentales: (a) potenciar el I+D+i, y b) reforzar la coordinación entre las Administraciones. En Portugal se plantea bajo 4 objetivos estratégicos: reducción de las presiones sobre el medio hídrico; refuerzo de la seguridad de la disponibilidad de agua; gestión del riesgo, y profundización y divulgación del conocimiento. Estos objetivos se desarrollan en 6 programas que cubren 16 medidas. Las medidas tienen una naturaleza transversal y proporcionan beneficios en los demás sectores usuarios de agua (Agência Portuguesa do Ambiente, 2013).

3.4.3. Escala subnacional

En este apartado se presenta un ejemplo de restauración del bosque atlántico en Brasil.

Solo el 7 % del foco candente de biodiversidad de bosques atlánticos está actualmente protegido. El cambio climático puede producir modificaciones en el rango de las especies alterando los patrones de diversidad y distribución de las

especies, que podrían reducir significativamente la eficiencia de conservación de las redes de áreas protegidas (Araújo *et ál.*, 2011; Monzón *et ál.*, 2011). Esto es crítico porque las áreas protegidas siguen figurando como la piedra angular de las estrategias de conservación, y más del 12 % de la superficie de la Tierra se encuentra actualmente bajo alguna forma de protección legal (Jekins y Joppa, 2009; Joppa y Pfaff, 2011). El cambio climático implica otras amenazas a la efectividad de una red de áreas protegidas (Hannah *et ál.*, 2007; Araújo *et ál.*, 2011). Las áreas protegidas son fijas en el paisaje, mientras las amenazas no lo son. Los cambios ambientales en la matriz que rodea a un área protegida en particular pueden extenderse a la propia área protegida (Wiens *et ál.*, 2011).

Ribeiro *et ál.* (2009) sugirieron algunas acciones para la conservación: (i) los grandes fragmentos de bosques maduros deberían ser una prioridad de conservación; (ii) los fragmentos más pequeños pueden ser gestionados para mantener mosaicos funcionalmente vinculados; (iii) los fragmentos circundantes de la matriz deberían ser gestionados para minimizar los efectos de borde y mejorar la conectividad, y (iv) se deben tomar acciones de restauración, particularmente en ciertas áreas clave.

En 2009, un grupo de ONG, empresas privadas, gobiernos e instituciones de investigación lanzaron uno de los programas de restauración ecológica más importantes y ambiciosos del mundo, el llamado Pacto de Restauración de Bosques Atlánticos-AFRP (Pacto Mata Atlántica, 2019). Este programa único con más de 160 miembros tiene como misión restaurar 15 millones de hectáreas de tierras degradadas en el bosque atlántico brasileño para el año 2050 y ayudar a proteger, de manera sostenible, los fragmentos de bosque restantes. Esto se logrará promoviendo (1) la conservación de la biodiversidad; (2) la generación de empleos y oportunidades de ingresos a través de la cadena de suministro de restauración; (3) la provisión de servicios ecosistémicos clave a millones de personas y empresas, y (4) el establecimiento de serios incentivos para que los propietarios cumplan con la regulación ambiental brasileña. Los esfuerzos de restauración ecológica están enfocados a restablecer los bosques tropicales de alta diversidad a través de diferentes métodos e incorporando posibilidades de explotación de madera nativa y productos no maderables en áreas que están siendo restauradas, especialmente en áreas agrícolas económicamente marginales (Rodríguez *et ál.*, 2011).

3.4.4. Escala local

En este apartado se presenta un ejemplo de enfoque integrado de la adaptación basada en los ecosistemas en ecosistemas de alta montaña en los Andes colombianos.

En los Andes colombianos, los ecosistemas de alta montaña del macizo de Chingaza, que se encuentran a más de 2.740 m s.n.m., son muy vulnerables a los impactos anticipados del cambio climático. Los modelos han predicho que

el 78 % de los glaciares y el 56 % de los páramos podrían desaparecer en 2050. Estos cambios significarían la pérdida de muchos de los servicios del ecosistema en la región, especialmente los de protección del suelo, suministro de agua y alimentos, regulación del flujo de agua y potencial hidroeléctrico. El 80 % de la población que vive en los ecosistemas circundantes de la capital, Bogotá, depende del agua del macizo de Chingaza.

Colombia está implementando un Plan Nacional de Adaptación Integrado (INAP) utilizando actividades de adaptación e intervenciones de políticas basadas en los ecosistemas para abordar de manera proactiva los impactos del cambio climático en todo el país (Andrade y Vides, 2010). En el macizo de Chingaza, estas medidas de adaptación incluyen:

- La restauración de los ecosistemas de alta montaña. La Estrategia de Parques Nacionales de Colombia para la restauración ecológica participativa se ha actualizado para tener en cuenta el cambio climático a fin de garantizar la regulación del agua y aumentar la captura de carbono. La estrategia se desarrolló con acuerdos participativos con las comunidades locales.
- La incorporación de la adaptación basada en los ecosistemas en el uso del suelo y modelos de planificación territorial para guiar la adaptación más allá de la conservación de la biodiversidad hacia el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.
- La mejora de los agroecosistemas productivos para reducir su vulnerabilidad a los impactos del cambio climático. Se han propuesto prácticas de gestión sostenible para diferentes sistemas agrícolas y se han adoptado a través de planes agrícolas desarrollados por agricultores locales.
- La evaluación y diseminación de información climática para determinar el funcionamiento del macizo de Chingaza bajo diferentes escenarios de cambio climático y para facilitar la adopción de medidas y políticas de adaptación.
- La modelización y el monitoreo del ciclo del agua y el carbono, incluido el establecimiento de varias estaciones hidrometeorológicas.

La implementación del Plan Nacional de Adaptación Integrado en el macizo de Chingaza ha resultado en una visión integrada del ecosistema basada en el ecosistema. El proyecto ha mejorado la gobernanza de la región al incorporar la adaptación basada en los ecosistemas en los procesos de planificación regional, incluidos los planes de gestión municipal y de cuencas hidrográficas. También ha contribuido a la política nacional de adaptación, que tiene como objetivo integrar las acciones sectoriales hacia la adaptación al cambio climático y el desarrollo sostenible. En la actualidad, se están implementando 27 procesos de restauración (de un total de 200, que es el objetivo), incluidas las cuencas hidrográficas superiores, las riberas de los ríos y las áreas de derrumbes. Las plantas nativas se seleccionan con las

comunidades locales, que también usan información climática para desarrollar sistemas de alerta temprana contra incendios, deslizamientos de tierra e inundaciones. Se han establecido datos de referencia para la cobertura de la tierra y el uso del suelo, los ciclos de agua y carbono, los sistemas agrícolas y la zonificación de riesgos.

3.5. Barreras, oportunidades e interacciones

La implementación efectiva de políticas de lucha contra el cambio climático requiere integrar sus objetivos en las políticas sectoriales (Kok y De Coninck, 2007; Swart y Raes, 2007; Adelle y Russel, 2013; Brouwer *et ál.*, 2013). Se dispone de menos evidencia sobre la necesidad de diseñar políticas capaces de gestionar eficazmente las interacciones entre los dos objetivos de lucha contra el cambio climático de mitigación y adaptación en los sistemas de uso del suelo que afectan a los ecosistemas naturales (Locatelli *et ál.*, 2016). Entre las justificaciones para separar los esfuerzos está que la adaptación y la mitigación a menudo operan a diferentes escalas espaciales y temporales e involucran a diferentes actores de políticas y sectores prioritarios (Klein *et ál.*, 2005; Tol, 2005). Existen diversos enfoques para la adaptación al cambio climático, como un enfoque basado en el peligro y la gestión de riesgos, vulnerabilidades, resiliencia y ecosistemas. La adaptación basada en los ecosistemas es una de las estrategias de adaptación existentes, y se puede usar en combinación con otras estrategias, teniendo en cuenta la evaluación de costo-beneficio, la relación costo-beneficio y los beneficios colaterales, es decir, las medidas de implantación para la adaptación al cambio climático asociadas con el mantenimiento de los servicios ambientales y con la conservación de la biodiversidad. Los ecosistemas bien gestionados tienen un mayor potencial de adaptación y resisten y se recuperan de los impactos de los eventos climáticos extremos con menos dificultad, y además brindan una mayor gama de beneficios de los que dependen las personas (IUCN, 2009). En el caso de los ecosistemas naturales, las interacciones entre la adaptación y la mitigación son particularmente importantes. Las acciones de adaptación pueden tener efectos positivos, negativos o neutrales en la mitigación, y viceversa (Locatelli *et ál.*, 2016). Por ejemplo, a partir de los análisis presentados por el IPCC, se predicen aumentos de temperaturas, especialmente en las zonas más continentales, como la Amazonia central. Este aumento de temperatura sumado a un predominio estacional de condiciones más secas puede generar un aumento en las emisiones de metano de algunos humedales en las Américas. El balance entre el secuestro de carbono de los humedales y sus emisiones de metano (Mitsch *et ál.*, 2012) es afectado también por cambios, como el drenaje, los incendios y la conversión a la agricultura o silvicultura, que actualmente están convirtiendo a los humedales y turberas en emisores netos de GEI (Frolking *et ál.*, 2011; Petrescu *et ál.*, 2015; Turetsky

et ál., 2015; Van der Werf *et ál.*, 2010), además, a un paso acelerado (Davidson, 2014; Junk *et ál.*, 2013).

En la **Figura 3.4** se presentan algunas de las interacciones entre acciones de mitigación y adaptación para los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como las sinergias con los Objetivos del Desarrollo Sostenible y el Marco de Sendai.

3.6. Medidas o indicadores de la efectividad de la adaptación

Un informe publicado por el Ministerio de Medio Ambiente de Brasil brindó información al público brasileño y a las audiencias internacionales sobre las actividades de monitoreo y evaluación llevadas a cabo durante el primer año del Plan de Adaptación Nacional (PAN) (Brasil, 2017). Durante el primer año, las acciones desplegadas en el marco del PNA abordaron el 96 % de sus objetivos y el 67 % (91) de sus directrices sectoriales. Los resultados indican un perfil de implementación dirigido a la expansión del conocimiento de las vulnerabilidades al cambio climático y al desarrollo de medidas y herramientas de adaptación. Entre los aspectos más destacados de las acciones llevadas a cabo están el mapeo a escala municipal de la vulnerabilidad de Brasil a la sequía; el marco y el desarrollo de una plataforma de adaptación-conocimiento (AdaptaClima); el mapeo de los impactos biofísicos del cambio climático en el bioma de la mata atlántica (Mata Atlántica), y la generación de un Índice Municipal de Vulnerabilidad al Cambio Climático para seis estados brasileños a través de la implementación del Proyecto SISVUCLIMA (Sisvuclima, 2019). Los objetivos de la estrategia para la biodiversidad y los ecosistemas son: analizar los impactos del cambio climático en la biodiversidad en Brasil y evaluar posibles medidas de adaptación para reducir las vulnerabilidades, así como el papel de la biodiversidad y los ecosistemas en la reducción de las vulnerabilidades socioeconómicas mediante la provisión de servicios ecosistémicos. Respecto a la biodiversidad y los ecosistemas, en 2016-2017, el Ministerio del Ambiente, junto con el Instituto Chico Mendes para la Conservación de la Biodiversidad (ICMBIO), llevó a cabo estudios y otras iniciativas dirigidas a establecer las bases institucionales y metodológicas para el cumplimiento de las directrices y el logro de los objetivos previstos. El estatuto institucional del ICMBIO fue revisado para abarcar el tema de la adaptación al cambio climático teniendo en cuenta la adaptación basada en los ecosistemas. Entre las actividades, se preparó un manual de mejoras prácticas para la aplicación de enfoques AbE en los planes de manejo de las unidades de conservación y se llevaron a cabo 11 proyectos piloto en 16 municipios con áreas de mata atlántica para estimular la incorporación de enfoques AbE en los diversos instrumentos, así como para la zonificación territorial a escala municipal y estudio sobre técnicas para la restauración de ecosistemas y estimaciones de costos por hectárea de restauración para cada bioma, lo que lleva a un aumento del conocimiento básico para la implementación futura de medidas AbE.

Acciones de adaptación [1]	Mitigación	Prevención de degradación de tierras	Protección de ecosistemas y biodiversidad	Seguridad alimentaria	Salud	Reducción de la pobreza	Agua	ODS [2]	Sentai [3]
Reforestación con especies nativas	●	●	●	●	●	●	●		
Silvicultura sustentable	●	●	●	●	●	●	●		
Control de cambios de uso del suelo	●	●	●	●	●	●	●		
Áreas protegidas y gobernanza de recursos naturales	●	●	●	●	●	●	●		
Adaptación al cambio climático en áreas protegidas y humedales	●	●	●	●	●	●	●		
Priorización de áreas para el manejo de cuencas	●	●	●	●	●	●	●		

[1] Para cada una de las medidas se valoraron, según el criterio de los autores, los distintos parámetros señalados en la tabla (como la mitigación u otros aspectos del desarrollo). Las interacciones se señalaron con círculos verdes (●) en el caso de los cobeneficios; con círculos rojos (●) en el caso de los antagonismos y contraindicaciones; o con un punto gris (●) en el caso de interacción neutra o no detectada. El tamaño de los círculos verdes y rojos indica mayor o menor grado de interacción (ya sea de cobeneficio o de antagonismo). Además, para cada una de las medidas, se señalaron las interacciones con respecto a los ODS y Sentai.

[3] **Prioridades del Marco Sentai:** 1 comprensión del riesgo de desastres; 2 fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres para la gestión del riesgo de desastres; 3 invertir en la reducción del riesgo de desastres para aumentar la resiliencia; 4 mejorar la preparación ante los desastres para una respuesta eficaz y «reconstruir mejor» en la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

[2] **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):**

ODS-1, erradicación de la pobreza:	ODS-2, hambre cero y agricultura sostenible:	ODS-3, salud y bienestar:	ODS-4, educación de calidad:	ODS-5, igualdad de género:	ODS-6, agua limpia y saneamiento:	ODS-7, energía limpia y asequible:	ODS-8, trabajo decente y crecimiento económico:	ODS-9, infraestructura de innovación:	ODS-10, reducir las desigualdades:	ODS-11, ciudades y comunidades sostenibles:	ODS-12, producción y consumo responsables:	ODS-13, acción contra el cambio climático mundial:	ODS-14, vida en el agua:	ODS-15, vida terrestre:	ODS-16, paz, justicia e instituciones eficaces:	ODS-17, asociaciones y medios de ejecución.

Figura 3.4. Interacciones en el ámbito de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales entre acciones de adaptación y otros aspectos del desarrollo. Fuente: elaboración propia.

Se han reportado indicadores del estado de conservación y vulnerabilidad de los ecosistemas en Chile a escala nacional, utilizando los criterios de la UICN y basados principalmente en la alteración de su área de distribución original y la degradación del medio, evaluado a través del estrés hídrico y térmico (Pliscoff *et ál.*, 2015). Este estudio concluye que los ecosistemas más amenazados son los que han sufrido una mayor reducción en su área de distribución debido al cambio en el uso del suelo. Basándose en este tipo de estudios, se pueden definir las regiones del país en donde es prioritario aplicar una estrategia de adaptación y al mismo tiempo servir como «referencia» para evaluar cuál ha sido el avance después de aplicar una medida de adaptación.

En la actualidad, el monitoreo posterior a la aplicación de las medidas de adaptación corresponde a la evaluación del éxito obtenido en el plan de restauración. Otros índices de monitoreo del éxito en la adaptación podrían ser desarrollados en Chile, considerando la legislación vigente y la infraestructura disponible. En la actualidad existen múltiples estaciones de monitoreo de la calidad del agua a lo largo de Chile a cargo de la Dirección General de Aguas (DGA), y algunas de ellas poseen datos incluso desde el año 1985, pero con diferente grado de continuidad en sus mediciones. Sin embargo, estas no se encuentran necesariamente ubicadas en las cuencas donde se están aplicando las estrategias de adaptación de los ecosistemas. Otros índices como la biodiversidad, cobertura de vegetación nativa vs. exótica, almacenamiento de C, N y P en los suelos podrían adoptarse para evaluar la eficacia de las medidas de adaptación.

México cuenta con aproximadamente 86 millones de hectáreas de bosques, de los cuales 31 millones de hectáreas son de bosques tropicales (SEMARNAT, CONABIO, 2014). La superficie en programas de restauración compensatoria aún no supera las 55.000 ha, la incorporación al Programa Nacional de Suelos Forestales ha sido de 130.000 ha, en el Programa de Conservación y Restauración de Suelos fluctúa sin rebasar las 131.000 ha y las que se encuentran en Pago por Servicios Ambientales derivados de la Biodiversidad tienen 235.146 ha y en Pago por Servicios Ambientales derivados de servicios hidrológicos, 327.233 ha. La incorporación de superficie a las acciones de adaptación ha ido en aumento, pero aún queda mucho por hacer para lograr los objetivos propuestos. La adaptación al cambio climático debe darse a varias escalas y en un contexto integral del desarrollo nacional (Lim y Spanger-Siegfried, 2016). Estos conceptos se discuten en el documento de adaptación al cambio climático (SEMARNAT e INECC, 2012). Sin embargo, hasta ahora no se percibe ese enfoque en las políticas y en los objetivos planteados en el programa especial de cambio climático (PECC), y en los compromisos hechos para el corto y el mediano plazo aún predomina la atención de emergencias sobre la planificación integral, transversal y de largo plazo que requiere atender un problema tan complejo. Los mapas y atlas de riesgos y vulnerabilidades, los programas, los enfoques y las políticas o son sociales o son biofísicos sin que aúnen el enfoque socio (incluye económico)-ecológico necesario para abordar el problema de una manera sustentable. En este sentido, parte del problema para generar una estrategia adecuada

para reducir la vulnerabilidad radica en que se ha avanzado en documentar la vulnerabilidad climática por factores y por zonas del país (INECC, 2013), pero hay falta de conocimiento, sistematización de la información y generación de herramientas y recursos para diseñar las medidas de adaptación particulares y apropiadas para los contextos socioecológicos.

La aplicación de «soluciones basadas en la naturaleza» (WWAP, 2018) o «adaptación basada en los ecosistemas» (según PNUMA, 2016) que puede ayudar a aumentar la resiliencia de los ecosistemas de aguas continentales a los impactos del cambio climático en la Península Ibérica es aún muy deficiente. En las **Tablas 3.3** y **3.4** se resumen algunos ejemplos que incluyen diferentes escalas de actuación. En muchas ocasiones, los objetivos de las actuaciones no incluyen explícitamente la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza, ni recuperar o mantener los servicios ecosistémicos de los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, la red de reservas fluviales española tiene el objetivo de conservación de las cabeceras, que lleva implícito el asegurar el mantenimiento de muchos servicios ecosistémicos, como puede ser el abastecimiento de agua de calidad. En general, las actuaciones llevadas a cabo han ido encaminadas a la restauración de un ecosistema acuático, como humedales o tramos de río (p. ej., LIFE06/NAT/E/000213, Proyecto CREAMAgua, el distrito de Zorrotzaurre, Paisaje de retención de agua de Tamera) o la implantación de medidas de gobernanza de las cuencas (p. ej., Proyectos Life-SHARA, EPI-WATER, WATER-CHANGE, AQUA-PLANN) que intentan suplir o minimizar los impactos derivados del cambio climático. En estos proyectos intervienen diferentes actores, tanto públicos como privados, aunque hay muy pocos en los que la participación ciudadana sea evidente. Además, hay que señalar que algunos de ellos aún están en ejecución, por lo que no es posible evaluar los beneficios obtenidos y reconocer las lecciones aprendidas.

3.7. Casos de estudio

En la **Figura 3.5** se presenta una caracterización breve de los casos de estudio que se desarrollan a continuación.

3.7.1. Restauración del río Órbigo

3.7.1.1. Resumen del caso

El proyecto de mejora ecológica del río Órbigo (León) fue la primera actuación a gran escala emprendida por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España para minimizar los daños causados por las inundaciones, utilizando una solución basada en la naturaleza como es la recuperación de la llanura de inundación para laminar las riadas y minimizar su peligrosidad, eliminando motas y escolleras que restringían el espacio fluvial (**Figura 3.6**). La participación ciudadana mediante un proceso real y transparente antes y durante la elaboración del proyecto fue clave para el éxito y aceptación de la actuación.

Título del caso	País/es	Región/es	Factor climático determinante	Ámbito geográfico	Tipos de adaptación	Aplicabilidad
Restauración del río Órbigo	España			Subnacional		Subnacional
Escenarios participativos para manejo sostenible de bosques en México	México			Local/municipal		Local/municipal

Factor climático determinante:

- Aumento de la temperatura
- Sequía
- Aumento de la precipitación
- Subida del nivel del mar
- Disminución de la precipitación
- Acidificación del océano
- Temperaturas extremas
- Cambios en la estacionalidad
- Tormentas intensas y huracanes
- Fertilización por CO₂

Regiones:



Tipos de adaptación:

- planificada, esto es, si es el resultado de decisiones políticas deliberadas;
- autónoma, esto es, si se realiza normalmente por individuos, comunidades o entes privados;
- dura (mediante infraestructuras o aplicaciones tecnológicas);
- blanda (acciones políticas, sociales, formativas, etc.);
- verde (acciones basadas en los ecosistemas).

Figura 3.5. Caracterización de los casos de estudio (ecosistemas terrestres y acuáticos continentales). Fuente: elaboración propia.



Figura 3.6. Imágenes de un tramo del río Órbigo mostrando su situación antes y después de la intervención de recuperación de la llanura de inundación. Fuente: Sánchez Martínez, 2015.

3.7.1.2. Introducción a la problemática del caso

Al igual que la mayoría de los ríos, el Órbigo experimenta crecidas e inundaciones periódicas tras fuertes lluvias, lo

cual afecta a las poblaciones locales, causando daños en sus viviendas y parcelas agrícolas ubicadas en la llanura de inundación. Tradicionalmente, los organismos de cuenca (confederaciones hidrográficas) han construido infraestructuras duras (escolleras, motas, embalses, etc.) para proteger a las poblaciones humanas y a la agricultura de las avenidas

periódicas e impredecibles que sufren los ríos mediterráneos. Estas infraestructuras restringen el espacio fluvial utilizado por el río durante las avenidas, socavando el cauce, erosionando márgenes y aumentando la peligrosidad de las riadas aguas abajo, lo que obliga a seguir construyendo nuevas infraestructuras y reparar las existentes. El río Órbigo, un afluente del río Duero, de 108 km de longitud, presentaba esta situación, de manera que la Confederación Hidrográfica del Duero decidió actuar en un tramo de 23,5 km con una filosofía nueva.

3.7.1.3. Descripción del caso

El objetivo básico del proyecto fue recuperar la funcionalidad del río, aumentando su conectividad transversal y longitudinal para mejorar su capacidad de laminación natural, lo que haría disminuir el riesgo de daños por inundación, además de regenerar los hábitats fluviales naturales. En definitiva, se trataba de recuperar la llanura de inundación completamente restringida por infraestructuras duras de obras hidráulicas (Confederación Hidrográfica del Duero, 2011; Barquero y Santillán, 2012).

El proyecto, que se ejecutó durante los años 2011 y 2012 y contó con un presupuesto total de unos 3 millones de euros, consistió en recuperar unas 480 ha de zonas inundables mediante la eliminación de 4,7 km de escolleras y 8,7 km de motas, así como el retranqueo de 5,2 km de motas del espacio fluvial y la recuperación de los brazos secundarios del río. Además, se aplicaron técnicas de ingeniería con estaquillado a lo largo de 1,4 km, se revegetaron 7,2 ha con vegetación ribereña y se retiraron unos 1.100 m³ de residuos (**Figura 3.7**).

Dado que todas las actuaciones eran contrarias a las tradicionalmente propuestas por los organismos de cuenca, se decidió diseñar un esquema de trabajo en el que se explicara claramente a los vecinos afectados los beneficios de esta metodología para minimizar los daños provocados por las avenidas, haciéndolos partícipes antes de diseñar el conjunto final de actuaciones a realizar. De hecho, el proyecto tuvo muchas reticencias iniciales por parte de los vecinos que se subsanaron realizando un intenso proceso de participación ciudadana desarrollado por los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Duero con las poblaciones ribereñas, en un marco de diálogo, así como un programa de educación ambiental y voluntariado que se llevó a cabo de forma paralela (Centro Ibérico de Restauración Fluvial, 2013). El proceso de participación ciudadana se inició dos años antes de la ejecución del proyecto, comenzando con una primera fase de reuniones explicativas en los municipios afectados tanto con los alcaldes y representantes de las juntas vecinales como con los vecinos interesados. En esta fase se pretendía dar a conocer la nueva filosofía de las actuaciones y romper con los tópicos anteriores sobre la idoneidad de ejecutar infraestructuras grises para evitar los daños de las avenidas. En una segunda fase, la información suministrada por ayuntamientos y vecinos permitió establecer claramente la problemática



RESUMEN DE LAS OBRAS EJECUTADAS EN EL PROYECTO

Presupuesto	3.084.697,20 €
Longitud de tramo de actuación	23,5 km
Eliminación de escolleras	4,720 m
Retirada de motas	8,700 m
Retranqueo de motas	5,220 m
Recuperación de llanura de inundación	480 ha
Recuperación de brazos secundarios	10,063 m
Técnicas de bioingeniería (estaquillado)	1,400 m
Limpieza y retirada de residuos	1.100 m ³
Permeabilización de obstáculos transversales	1
Longitud de río reconectado	22 km

Figura 3.7. Imagen de las obras de recuperación de la llanura de inundación del río Órbigo (foto superior) y principales cifras sobre la intervención (esquema inferior). **Fuentes:** *Diario de León*, 2012 (foto superior); Barquero y Santillán, 2012 (esquema inferior).

asociada a cada tramo del río y así poder diseñar diferentes alternativas de actuación que, en una tercera fase, fueron expuestas al público para su debate y valoración final antes de hacer definitivas las actuaciones del proyecto (Barquero y Santillán, 2012).

3.7.1.4. Limitaciones e interacciones

El proyecto de mejora ecológica del río Órbigo estaba planteado para actuar en la totalidad del cauce. Sin embargo, tras la fase de inventario realizada, y dada la cantidad de intervenciones necesarias y el elevado costo económico, se decidió dividirlo en tres fases. En la actualidad tan solo se ha llevado a cabo la primera. La crisis económica es la principal responsable de la paralización de las otras fases, lo cual

probablemente limitará la capacidad del río para recuperar su conectividad lateral y longitudinal y su funcionalidad como llanura de inundación para cumplir el objetivo de minimizar las crecidas periódicas. Pero la principal limitación de este tipo de proyectos, hábilmente superada por los técnicos implicados en este caso, es la necesaria implicación de la ciudadanía en los proyectos que suponen cambios profundos en los modos de actuación tradicionales, que solo se consigue a través de un proceso real y transparente de participación.

Al margen de los beneficios obtenidos con la reducción de daños provocados por las avenidas de agua a las poblaciones ribereñas, el proyecto ha conseguido mejorar y regenerar los hábitats fluviales y recuperar un total de 10 km de brazos secundarios del río que habían quedado inutilizados artificialmente. De hecho, un estudio reciente sobre la evaluación de los potenciales beneficios de las actuaciones llevadas a cabo en el río Órbigo (Martínez-Fernández *et al.*, 2017) indica la rápida recuperación hidromorfológica del tramo, así como la recuperación de la vegetación ribereña, restaurando el servicio de regulación de minimización de los daños causados por las avenidas. Además, las actuaciones realizadas están basadas en criterios de sostenibilidad económica y ambiental, lo que permite su persistencia a largo plazo. Finalmente, hay que señalar que, de forma indirecta, se han recuperado varios servicios ambientales. Así, las actuaciones llevadas a cabo son compatibles con otros usos y aprovechamientos asociados a las riberas fluviales, como cultivos forestales (populicultura), agrícolas y recreativos.

3.7.1.5. Lecciones identificadas

Las actuaciones llevadas a cabo en el tramo de cauce del río Órbigo muestran cómo es posible recuperar la funcionalidad de un ecosistema y, por ende, su capacidad para proveer múltiples servicios ecosistémicos, aplicando soluciones basadas en la naturaleza. A ello hay que añadir que la participación ciudadana en un proceso real, transparente y muy cercano a la población puede llegar a ser la clave para hacer posible un cambio de paradigma en la gestión de los ecosistemas introduciendo soluciones basadas en la naturaleza. De especial relevancia es la incorporación de las experiencias y «saberes» de los ciudadanos de mayor edad que han convivido con la naturaleza. Esta fue una de las razones por las que el proyecto fue finalista del premio European Riverprize en 2013 (CIREF, 2019).

En este contexto, cabe señalar que en la Península Ibérica existen muchos otros ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza, como es el caso del río Arga en Navarra (también de gestión de inundaciones), que se ha desarrollado en el marco de PIMA ADAPTA Agua y del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) en España. Otros proyectos en España en el marco del Programa PIMA Adapta Agua abordan, además de la reducción de los riesgos asociados al cambio climático, otros objetivos definidos en el contexto de la normativa europea en materia de

agua, inundaciones o hábitats, mejorando el estado de las masas de agua y los ecosistemas asociados, y aumentando su resiliencia frente a fenómenos extremos, entre otros (PIMA Adapta, 2019). En el **Anexo** del presente capítulo se recoge una selección de proyectos implementados en la Península Ibérica en el ámbito de los ecosistemas acuáticos continentales (**Tabla 3.A**) y terrestres (**Tabla 3.B**) que están relacionados también con la adaptación basada en los ecosistemas.

3.7.2. Escenarios participativos para manejo sostenible de bosques en México

3.7.2.1. Resumen del caso

El conocimiento local puede proporcionar un catalizador importante para determinar el alcance y llevar a cabo acciones de adaptación a nivel de la comunidad para la gestión de los recursos naturales y la protección de los ecosistemas en sistemas socioecológicos integrados. La capacidad de gestionar y a la vez prepararse para el cambio mediante el diseño y la aplicación de las respuestas adaptativas pueden caracterizarse como capacidad adaptativa, para la cual el conocimiento y los procesos de aprendizaje representan una influencia capacitadora importante. El uso de la planificación de escenarios participativos para estimular el aprendizaje social prospectivo para la adaptación se investigó en un estudio del caso sobre el manejo de bosques en México.

3.7.2.2. Introducción a la problemática del caso

El cambio ambiental requiere respuestas adaptativas que sean innovadoras, prospectivas y anticipatorias con el fin de cumplir los objetivos de sostenibilidad en los sistemas socioecológicos. Latinoamérica se enfrenta a una combinación única de desafíos y oportunidades a consecuencia del cambio global. A pesar de que la región está bien integrada en la economía global, tiene economías que dependen en gran medida de los recursos naturales, y la pobreza y la desigualdad son generalizadas (Hoffman y Centeno, 2003). Las poblaciones son muy móviles, los medios de vida y las economías están cambiando rápidamente, y el contexto político e institucional a menudo es volátil, todo lo cual indica un alto potencial de cambio sin precedentes (Eakin y Lemos, 2010).

3.7.2.3. Descripción del caso

El estudio de Brown *et al.* (2016) aplicó el método de planificación de escenarios genéricos en una comunidad ubicada en la Sierra Juárez, de Oaxaca (sur de México), y se

centró en el manejo forestal y la necesidad de mejorar los beneficios socioeconómicos para ayudar a desacelerar las tasas de emigración. México tiene una tradición de propiedad colectiva de la tierra y cogestión de los recursos naturales. El fuerte sistema de gestión comunitaria se estableció después de que los pueblos indígenas recuperaran el control de sus tierras en la década de 1970, con un área forestal bien conservada que ha resistido la expansión agrícola que se ha producido en otros lugares. Se realizaron cuatro talleres, con una media de 25 participantes de cada una de las partes interesadas (población local del territorio, autoridades municipales, la agencia ambiental, las ONG, la empresa forestal pública y la Comisión Nacional Forestal, CONAFOR). Entre los impulsores de estado que pueden causar cambios internos significativos e inestabilidad potencial del sistema se indicaron los cambios en el marco legal, así como la pérdida de habilidades y conocimientos clave a través de la emigración. Los impulsores a menudo se han interpretado como conectados: por ejemplo, el clima y el mayor riesgo de incendios forestales importantes estaban relacionados con la emigración: si la emigración aumentara, habría menos bomberos, y el daño forestal por más incendios también podría conducir a una mayor emigración.

3.7.2.4. Limitaciones e interacciones

En la comunidad, la planificación futura era desconocida, ya que su enfoque principal estaba en las actividades diarias y no en problemas a largo plazo. Sin embargo, durante el proceso, los participantes expresaron su satisfacción por haber tenido la oportunidad de pensar en el futuro.

El proceso del escenario también identificó el papel del poder (por ejemplo, cuestiones de género) en la toma de decisiones.

3.7.2.5. Lecciones identificadas

Las narraciones de escenarios exploratorios que sintetizan el conocimiento local y las percepciones futuras se usaron de forma iterativa para definir opciones de respuesta consideradas robustas para múltiples futuros. A pesar de su formato intensivo, los participantes en cada caso estuvieron de acuerdo en que la planificación de escenarios permitía una evaluación más sistemática del futuro. Los escenarios facilitaron la innovación al proporcionar el alcance para proponer nuevos tipos de respuestas y acciones asociadas. Las diferencias en el contexto local significaron que el aprendizaje sobre el cambio futuro se desarrolló de diversas maneras, mostrando la necesidad de un proceso reflexivo. Los temas comunes para el desarrollo de la capacidad de adaptación se centraron en fortalecer las disposiciones de gobernanza local, enfatizando el sentido de comunidad, la educación (particularmente basándose en el contexto local diferenciado) y la necesidad de mejorar las relaciones con las instituciones para coordinar la gestión del cambio.

3.8. Principales lagunas y necesidades futuras

A día de hoy hay muy pocos estudios que analicen la vulnerabilidad o la resiliencia de los ecosistemas de la región al cambio climático y al cambio global con la visión socioecológica que se requiere para diagnosticarla y reducirla.

Abundan los estudios de comparación de diversidad, estructura y funcionamiento bajo diferentes coberturas que orientan sobre la resistencia y la capacidad de recuperación a diferentes impactos, pero no hacen un análisis integrado de la resiliencia y de la vulnerabilidad.

Actualmente, aún existen muchas barreras legales e institucionales para llevar a cabo estrategias de gestión efectiva de los ecosistemas en el contexto del cambio climático, que deben ser superadas. Los planes nacionales de adaptación al cambio climático aún no han definido los enfoques para implementar y evaluar las estrategias definidas.

Sin excluir otros ámbitos de gobernanza, el marco territorial más apropiado para llevar a cabo estrategias proactivas adaptativas al cambio climático es la cuenca hidrológica, coordinando todas las políticas relacionadas con el uso del suelo: agricultura, silvicultura, ganadería, etc.

La cooperación y coordinación entre los administradores de tierras y aguas será esencial para la implementación exitosa de estrategias adaptativas al cambio climático.

Los organismos de cuenca que gestionan los recursos hídricos deben avanzar en su modernización mediante la incorporación en su estructura de personal especializado de diversos ámbitos profesionales, incrementando la participación de todos los interesados en las mismas condiciones de igualdad, eliminando los privilegios actuales de algunos usuarios.

A pesar de algunos casos loables, tampoco a escala local (municipios) se están incorporando medidas de adaptación al ritmo necesario en sus políticas de planificación territorial.

Muchas acciones a escala municipal y local deben su éxito a la participación pública, trabajar directamente con los representantes de los sectores afectados e interesados, y a la coordinación de las iniciativas para lograr una gestión más sostenible de los ecosistemas.

3.9. Conclusiones

La conjunción de las presiones asociadas al cambio climático y otros disturbios humanos puede resultar en sinergias e incrementar los daños en los ecosistemas al aumentar la exposición y la sensibilidad de sus procesos funcionales a condiciones adversas e ir minando su capacidad de adaptación. Lo mismo sucede con las poblaciones humanas asociadas a esos ecosistemas: la pobreza, la carencia o

deficiencia de infraestructura y servicios, la baja diversificación de las actividades productivas y los modos de vida las pueden volver más vulnerables o, en términos ecológicos, menos resilientes a esas fuerzas de presión.

La variabilidad climática es compleja, y también lo es el escenario social y económico que determina el disturbio humano sobre los ecosistemas de los países RIOCC. Al presentarse las presiones o las emergencias asociadas al cambio climático, las dos vulnerabilidades, o las dos resiliencias, se conjuntan y ejercen reacciones entre ellas que podrían anticiparse e incluirse en las medidas de adaptación.

Las estrategias para planear la adaptación al cambio climático deben considerar no solo los factores biofísicos, sino también los factores sociales y económicos que aumentan la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación de las poblaciones locales, ya que todos los ecosistemas son en realidad sistemas socioecológicos, y considerar un componente sin tener en cuenta el otro no llevará a lograr los objetivos de adaptación.

Se ha identificado en esta síntesis que en la región RIOCC existe una necesidad urgente de conocimiento sistematizado del estado de los ecosistemas y de las amenazas actuales sobre ellos que permita modelar con solidez los riesgos y establecer prioridades de acciones de adaptación contemplando los escenarios más factibles. Asimismo, se ha detectado la falta de herramientas tanto para la planeación de acciones de adaptación con enfoque socioecológico como para el monitoreo de esas acciones una vez implementadas. La generación de estas herramientas, guías, lineamientos, etc., puede facilitar, acelerar y homogeneizar el proceso de planeación y de seguimiento. De esta manera, se puede propiciar una continuidad histórica que ayude a reducir los efectos de los cambios gubernamentales y los fenómenos globales que influyen en la estabilidad a largo plazo de las acciones de adaptación.

Los planes nacionales de adaptación al cambio climático implementados deben asegurar una continuidad a largo plazo, con seguimientos científicos apropiados y participación proactiva de la comunidad local, que posee un conocimiento empírico arraigado del manejo sostenible de sus recursos naturales. Como resultado de ello la comunidad local debe salir directamente beneficiada tanto social como económicamente. Esto requiere de un refuerzo descentralizado de los recursos económicos adaptado a los requerimientos de cada región, provincia o municipalidad. La evaluación de cada estrategia debe ser implementada tanto a nivel científico como a nivel de la comunidad local.

Bibliografía

- Acácio**, V., M. Holmgren, F. Rego, F. Moreira y G.M. Mohren, 2009: Are drought and wildfires turning Mediterranean cork oak forests into persistent shrublands? *Agroforestry Systems*, 76(2), 389-400.
- Acuña**, V. y K. Tockner, 2010: The effects of alterations in temperature and Flow regime on organic carbon dynamics in Mediterranean

river networks. *Global Change Biology*, 16, 2638-2650, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02170.x

- Adelle**, C. y D. Russel, 2013: Climate policy integration: a case of déjà vu? *Environ Policy Gov*, 23(1), 1-12. <https://doi.org/10.1002/eet.1601>
- Agência Portuguesa do Ambiente**, 2013: *Relatório de Progresso da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas. Relatório Integrado*. Documento consultado el 4 de febrero de 2018, https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/AlteracoesClimaticas/Adaptacao/ENAAAC/RelatProgresso/Relat_Progresso.pdf
- Aide**, T.M., M.L. Clark, H. R.Grau, D. López-Carr, M.A. Levy, D. Redo, M. Bonilla-Mohena, G. Riner, M.J. Andrade-Nuñez y M. Muñiz, 2013: Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001–2010). *Biotropica*, 45(2), 262-271.
- Aldous**, A., J. Fitzsimons, B. Richter y L. Bach, 2011: Droughts, floods and freshwater ecosystems: evaluating climate change impacts and developing adaptation strategies. *Marine and Freshwater Research*, 62, 223-231.
- Alentejo**, 2019: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/autonomous-adaptation-to-droughts-in-an-agro-silvo-pastoral-system-in-alentejo>
- Alho**, C.J.R. y J.S.V. Silva, 2012: Effects of severe floods and droughts on wildlife of the Pantanal wetland (Brazil)-A review. *Animals*, 2, 591-610.
- Almeida-Val**, V.M.F., A.R. Chippari-Gomez, N.P. Lopes, R. Araujo, S.R. Nozawa, M.S. Ferreira-Nozawa, M. de Zazare Paula-Silva y A.L. Val, 2006: *Biochemical responses to hypoxia: The case of Amazon fishes*. Proceedings of the Ninth International Symposium on Fish Physiology, Toxicology, and Water Quality, Georgia. Georgia: EPA, pp. 13.
- Almodovar**, A., G.G. Nicola, D. Ayllón y B. Elvira, 2012: Global warming threatens the persistence of Mediterranean brown trout. *Global Change Biology*, 18, 1549-1560.
- Althoff**, T.D., R.S.C Menezes, A.L. de Carvalho, A. de Siqueira Pinto, G.A.C.F. Santiago, J.P.H. B.Ometto y E.V.D.S.B. Sampaio, 2016: Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. *Forest Ecology and Management*, 360, 367-375.
- Alvarez**, M., J. Catalán y D. García de Jalón, 2005: Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. En: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático* [Moreno Rodriguez J.M. (ed.)], Ministerio de Medio Ambiente, pp. 112-146.
- Améztegui**, A., L. Brotons y L. Coll, L., 2010: Land use changes as major drivers of mountain pine (*Pinus uncinata* Ram.) expansion in the Pyrenees. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 632-641.
- Aquaplan**, 2019a: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE07_ENV_E_000826_AfterLIFE_ES.pdf
- Aquaplan**, 2019b: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.premioconama.org/bo/bancorecursos/banco_imagenes/premios12/inscripciones/72_Memoria_Abegonda.pdf
- Ayllón**, 2019: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.mapama.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/seminarioPNACC/cc-red-natrua-2000_tcm30-377478.pdf
- Andrade**, A. y R. Vides, 2010: *Enfoque Ecosistémico y políticas públicas: aportes para la conservación de la biodiversidad y la adaptación al*

- cambio climático en Latinoamérica*. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), CIFFEN, MacArthur Foundation: São José dos Campos, Brasil, 19 pp.
- Aragão, L.E.O.C., Y. Malhi, R.M. Roman Cuesta, S. Saatchi, L.O. Anderson y Y.E. Shimabukuro, 2007:** Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, 34(7), 1-5.
- Araújo, M.B., D. Alagador, M. Cabeza, D. Nogués-Bravo y W. Thuiller, 2011:** Climate change threatens European conservation areas. *Ecology letters*, 14(5), 484-492.
- Austín, A.T., M.M.C. Bustamante, G.B. Nardoto, S.K. Mitre, T. Pérez, J. P.H.B. Ometto, N.L. Ascarrunz, M.C. Forti, K. Longo, M.E. Gavito, A. Enrich-Prast y L.A. Martinelli, 2013:** Latin America's Nitrogen Challenge. *Science*, 340(6129), 149.
- Bannister, JR., 2015:** Recuperar bosques no es solo plantar árboles: lecciones aprendidas luego de 7 años restaurando bosque de *Pilgerodendron uviferum* (D.Don) Florin en Chiloé. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 43, 35-51.
- Barquero, J.P. e I. Santillán, 2012:** El proyecto de mejora ecológica del Río Órbigo (Tramo I). *Revista Sauce*, 6, 15-17.
- Barros, D.F. y A.L.M. Albarnaz, 2014:** Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. *Brazilian Journal of Biology*, 74(4), 810-820.
- Bernitz-Gilabert, M., M. Alvarez-Cobelas y D.G. Angeler, 2010:** Effects of climatic change on stream water quality in Spain. *Climatic Change*, 103, 339-352.
- Bernal Patiño, J.G., 2014:** *Evaluación de la dinámica del agua subterránea en la ecología del humedal Laguna de Sonso, Valle del Cauca-Colombia*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, 158 pp.
- Bodmer, R., T. Fang, P. Puertas, M. Antúnez, K. Chota y W. Bodmer, 2014:** *Cambio Climático y Fauna Silvestre en la Amazonía Peruana: Impacto de la Sequía e Inundaciones Intensas en la Reserva Nacional Pacaya Samiria*. Eds. Wust, Lima, Perú, 254 pp.
- Bodmer, R., T. Fang, M. Antunez, P. Puertas, K. Chota, M. Pittet, M. Kirkland, M. Walkey, C. Rios, P. Perez-Peña, P. Mayor, J. Zegarra y E. Docherty, 2017:** Impact of recent climate fluctuations on biodiversity and people in flooded forests of the Peruvian Amazon. *CBD Technical Series*, 89, 81-90.
- Boit, A., B. Sakschewski, L. Boysen, A. Cano-Crespo, J. Clement, N. Garcia-alaniz, K. Kok, M. Kolb, F. Langerwisch, A. Rammig, R. Sachse, M. van Eupen, W. von Bloh, D.C. Zemp y K. Thonicke, 2016:** Large-scale impact of climate change vs. land-use change on future biome shifts in Latin America. *Global change biology*, 22(11), 3689-3701.
- Bond, N.R., P.S. Lake y A.H. Arthington, 2008:** The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective. *Hydrobiologia*, 600, 3-16.
- Boyero, L.R.G. Pearson, M.O. Gessner, L.A. Barmuta, V. Ferreira, M.A.S. Graça, D. Dudgeon, A.J. Boulton, M. Callisto, E. Chauvet, J.E. Helson, A. Bruder, R.J. Albariño, C.M. Yule, M. Arunachalam, J.N. Davies, R. Figueroa, A.S. Flecker, A. Ramírez, R.G. Death, T. Iwata, J.M. Mathooko, C. Mathuriau, J.F. Gonçalves Jr., M.S. Moretti, T. Jinggut, S. Lamothe, C. M'Erimba, L. Ratnarajah, M.H. Schindler, J. Castela, L.M. Buria, A. Cornejo, V.D. Villanueva y D.C. West, 2011:** A global experiment suggests climate warming will not accelerate litter decomposition in streams but might reduce carbon sequestration. *Ecology Letters*, 14, 289-294, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2010.01578.x
- Bradley, R.S., F.T. Keimig, H.F. Diaz y D.R. Hardy, 2009:** Recent changes in freezing level heights in the Tropics with implications for the deglaciation of high mountain regions. *Geophysical Research Letters*, 36 (L17701), 1-4.
- Brasil, 2017:** *National Adaptation Plan: 1st monitoring and evaluation report 2016-2017*. Minister of Environment, Secretary for Climate Change and Forests, Brasília DF, MMA, 31 pp.
- Brodnig, G. y V. Prasad, 2010:** A view from the top: vulnerability in mountain systems. *Social Development Notes*, n.º 128, World Bank. Documento consultado el 2 de mayo de 2017, <http://siteresources.world.org>
- Broncano, M.J., J. Retana y A. Rodrigo, 2005:** Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecology*, 180(1), 47-56.
- Brouwer, S., T. Rayner y D. Huitema, 2013:** Mainstreaming climate policy: the case of climate adaptation and the implementation of EU water policy. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 31(1), 134-153.
- Brown, I., J. Martin-Ortega, K. Waylen y K. Blackstock, 2016:** Participatory scenario planning for developing innovation in community adaptation responses: three contrasting examples from Latin America. *Regional environmental change*, 16(6), 1685-1700.
- Bruno, D., O. Belmar, A. Maire, A. Morel, B. Dumont y T. Datry, 2019:** Structural and functional responses of invertebrate communities to climate change and flow regulation in alpine catchments. *Global Change Biology*, 25, 1612-1628, DOI: 10.1111/gcb.14581
- Bustamante, M.M.C., L.A. Martinelli, J.P.H.B. Ometto, J. Braga do Carmo, V. J. Jaramillo, M.E. Gavito, P.I. Araujo, A.T. Austin, T. Perez y S. Marquina, 2014:** Innovations for a sustainable future: rising to the challenge of nitrogen greenhouse gas management in Latin America. *Current Opinions in Environmental Sustainability*, 9(10), 73-81.
- Cabello, J. y A. Castro, 2012:** *Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de zonas áridas de Andalucía*. Centro Andaluz para la evaluación y seguimiento del cambio global (CAESC), Andalucía.
- Carleton, T. A. y S.M. Hsiang, 2016:** Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837.
- Carnicer, J., M. Coll, X. Pons, M. Ninyerola, J. Vayreda y J. Peñuelas, 2014:** Large-scale recruitment limitation in Mediterranean pines: the role of *Quercus ilex* and forest successional advance as key regional drivers. *Global Ecology and Biogeography*, 23(3), 371-384.
- Casteller, A., T. Häfelfinger, E. Cortés Donoso, K. Podvin, D. Kulakowski y P. Bebi, 2017:** Assessing the interaction between mountain forests and natural hazards at Nevados de Chillán, Chile, and its implication for Ecosystem-based Disaster Risk Reduction. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-348>
- Castro Parga, I., J.C.M. Saiz, C.J. Humphries y P.H. Williams, 1996:** Strengthening the Natural and National Park system of Iberia to conserve vascular plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 121(3), 189-206.
- Cavazos, T., J.A. Salinas, B. Martínez, G. Colorado, P. de Grau, R. Prieto, C. Conde, A. Quintanar, J. Santana, R. Romero, M.E. Maya, J. G. Rosario, M. R. Ayala, H. Carrillo, O. Santiesteban, M.E. Bravo. 2013:** *Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional*, escenarios.inecc.gob.mx
- Centro Ibérico de Restauración Fluvial, 2013:** http://www.cirefluvial.com/noticias_ver.php?id=251
- CEPAL, UKAID, CCAD, SIECA, 2010:** *The economics of climate change in Central America: summary 2010*. UK Department for International

- Development, SIECA; NU. CEPAL. Subse de México, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CEPAL, <https://www.cepal.org/en/publications/35229-economics-climate-change-central-america-summary-2010>
- CIREF**, 2019: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.cirefluvial.com/noticias_ver.php?id=251
- CONABIO**, Comisión Nacional para el Conocimiento, Uso y Manejo de la Biodiversidad, 2014: *Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)*. CONABIO, México, 47 pp.
- CONAFOR** Comisión Nacional Forestal, 2017: Gerencia de Sanidad Forestal, México.
- CONAMA**, 2008: *Plan Nacional de Acción de Cambio Climático 2008-2012 (PANCC)*. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- CONANP**, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. y The Nature Conservancy (TNC), 2011: *Guía para la elaboración de programas de adaptación al cambio climático en áreas naturales protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Ciudad de México.
- CONANP**, 2014: *Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo Cuatrociénegas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México.
- Confederación Hidrográfica del Duero**, 2011: <http://contratoderiomatarranya.org/documentos/BP-restauracion/BP1.pdf>
- Conservation International**, 26 de julio de 2018: *Adaptación al cambio climático basada en el manejo de ecosistemas para pequeños productores agrícolas de subsistencia y cafetaleros en América Central (CASCADA)*, <https://www.conservation.org/projects/Pages/sobre-cascada.aspx>
- Córdoba R.**, 2018: UICN CEM Mesoamerica y consultora Proyecto Humedales SINAC-GEF.
- Corrales, L. y W. Murillo**, 2018: Diseño e implementación de acciones de adaptación al cambio climático en un humedal Ramsar del bosque seco. *Revista Ambientico*, 266, artículo 7, 41-49. Disponible en http://www.ambientico.una.ac.cr/rev_ambientico.php?revID=266
- Correia, R.A., M.N. Bugalho, A.M. Franco y J.M. Palmeirim**, 2018: Contribution of spatially explicit models to climate change adaptation and mitigation plans for a priority forest habitat. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 23(3), 371-386.
- Cortés Bianchi, M.A.**, 2017: *Restauración ecológica de los bosques de Araucaria araucana (Molina) K. Koch de la Cordillera de Nahuelbuta en la Región de la Araucanía, Chile*. Ph. D. Thesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Cortés-Donoso E., K. Podvin y A. Casteller**, 2017: *Reporte final: Ecosistemas para la Protección de la Infraestructura y Comunidades en Chile*. Quito y Santiago de Chile: UICN, SLF y MMA. X+53pp.
- CREAMAgua**, 2019a: <http://www.creamagua.com/proyecto.htm>
- CREAMAgua**, 2019b: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.premioconama.org/bo/bancorecursos/banco_imagenes/premios13/inscripciones/150_Memoria%20Monegros.pdf
- Davidson, N.C.**, 2014: How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 934-941.
- Doblas-Miranda, E., R. Alonso, X. Arnan, V. Bermejo, L. Brotons, J. de las Heras, M. Estiarte, J.A. Hódar, P. Llorens, F. Lloret, F.R. López-Serrano, J. Martínez-Vilalta, D. Moya, J. Peñuelas, J. Pino, A. Rodrigo, N. Roura-Pascual, F. Valladares, M. Vilà, R. Zamora y J. Retana**, 2017: A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change*, 148, 42-54.
- DOF** Diario Oficial de la Federación, 2012: Ley General de Cambio Climático, México.
- Donoso P.J., C. Frene, M. Flores, M.C. Moorman, C.E. Oyarzún y J.C. Zavaleta**, 2014: Balancing water supply and old-growth forest conservation in the lowlands of south-central Chile through adaptive co-management. *Landscape Ecology*, 29: 245-260.
- Dussailant A, G. Benito, W. Buytaert, P. Carling, C. Meier y F. Espinoza**, 2010: Repeated glacial-lake outburst floods in Patagonia: An increasing hazard? *Natural Hazards*, 54(2), 469-481.
- Eakin, H. y M.C. Lemos**, 2010: Adaptive capacity to global change in Latin America. *Global Environmental Change*, 20(1), 1-32.
- EEA**, European Environment Agency, 2013: *Adaptation in Europe. Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*. EEA Report n.º 3/2013, European Environment Agency.
- Eigenbrod, F., P. Gonzalez, J. Dash y I. Steyl**, 2015: Vulnerability of ecosystems to climate change moderated by habitat intactness. *Global Change Biology*, 21(1), 275-286.
- EME** (Evaluación de los ecosistemas del Milenio de España), 2011: *La evaluación de los ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, <http://www.ecomilenio.es/documentos/documentos-eme>
- Epiwater**, 2019a: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.feem-project.net/epiwater>
- Epiwater**, 2019b: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.chsegura.es/chs_en/index.html
- Epiwater**, 2019c: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.chtajo.es>
- Escudero, A., R. García-Camacho, A. García-Fernández, R.G. Gavilán, L. Giménez-Benavides, J.M. Iriondo, C. Lara-Romero, J. Morente, y D.S. Pescador**, 2012: Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 63-72.
- Espinoza, J.C., J. Ronchail, F. Frappart, W. Lavado, W. Santini y J.L. Guyot**, 2013: The major floods in the Amazonas River and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970-2012 period: A focus on the 2012 flood. *Jr. of Hydrometeorology*, 14: 1000-1008.
- Frolking, S., J. Talbot, M.C. Jones, C.C. Treat, J.B. Kauffman, E.-S. Tuittila y N. Roulet**, 2011: Peatlands in the Earth's 21st century coupled climate-carbon system. *Environ. Rev.*, 19, 371-396.
- FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade**, 2015: *Adaptação baseada em Ecosistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas*. Fundação Grupo Boticário, Curitiba, 2a Edição, 82 pp., http://www.fundacaogrupoboticario.org.br/pt/StaticFiles/AbE_2015.pdf
- Gloor, M., R. Brienen, D. Galbraith, T. Feldpausch, J. Schöngart, J.L. Guyot, J. Espinoza, J. Lloyd y O. Phillips**, 2013: Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*, 40, 1729-1733.

- González, E., S. Martín y R. Urquiaga, 2015:** Las reservas naturales fluviales y la planificación ecológica. *Ambienta*, 110: 60-81.
- Groombridge, B., 1992:** Status of the Earth's living resources. En *Global Biodiversity*. World Conservation Monitoring Center.
- Hamilton, S.K., S.J. Sippel y J.M. Melack, 2002:** Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. *J. Geophys. Res. Atmos*, 107: 1-14.
- Hannah, L., C.I. Donatti, C.A. Harvey, E.A. Daniel, A. Rodriguez, C. Bouroncle, E. Castellanos, F. Diaz, E. Fung, H.G. Hidalgo, P. Imbach, P. Läderach, J.P. Landrum y A.L. Solano, 2017:** Regional modeling of climate change impacts on smallholder agriculture and ecosystems in Central America. *Climatic Change*, 141, 29-45.
- Hannah, L., G. Midgley, S. Andelman, M. Araújo, G. Hughes, E. Martinez-Meyer, R. Pearson y P. Williams, 2007:** Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(3), 131-138.
- Hernández-Guzmán, R., A. Ruiz-Luna, C.A. Berlanga-Robles y J.T. Ponce-Palafox, 2016:** Analysis of flood pulse dynamics in the lower basin of the San Pedro River (northwestern Mexico) using remote sensing. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2), 293-304.
- Hernández, L., I. Cañellas, I. Alberdi, I. Torres y F. Montes, 2014:** Assessing changes in species distribution from sequential large-scale forest inventories. *Annals of Forest Science*, 71(2), 161-171.
- Herrero, A. y R. Zamora, 2014:** Plant responses to extreme climatic events: a field test of resilience capacity at the southern range edge. *PLoS One*, 9(1), e87842.
- Hidalgo, H.G., J.A. Amador, E.J. Alfaro y B. Quesada, 2013:** Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology*, 495, 94-112.
- Hoffman, K. y M.A. Centeno, 2003:** The lopsided continent: inequality in Latin America. *Annual Review of Sociology*, 29(1), 363-390.
- Honorio Coronado, E.N. y F.C. Draper, 2017:** A monitoring network to detect the impact of climate change on tree biodiversity and carbon in Amazonian floodplain forests. En: *Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2017) e Lima Declaration on Biodiversity and Climate Change: Contributions from Science to Policy for Sustainable Development* [Rodríguez, L. e I. Anderson (eds.)]. Technical Series, n.º 89. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 156 pp.
- Imbach, P., L. Molina, B. Locatelli, O. Rounsard, G. Mahé, R. Neilson, L. Corrales, M. Scholze y P. Ciais, 2012:** Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, 13(2), 665-680.
- INECC, 2013:** *Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, México.
- Iniesta, P., 2012:** La CHD recupera el valor ecológico del Órbigo en Carrizo con 2,5 millones, versión del 16 de agosto de 2012. *Diario de León*, León, España. Consultado en el 16 de enero de 2020, <https://www.diariodeleon.es/articulo/provincia/chd-recupera-valor-ecologico-orbigo-carrizo-25-millones/201208160400001276776.html>
- IUCN, 2009:** *Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- IPBES, 2018a:** *Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* [J. Rice, C.S. Seixas, M.E. Zaccagnini, M. Bedoya Gaitán, N. Valderrama, C.B. Anderson, M.T.K. Arroyo, M. Bustamante, J. Cavender-Bares, A. Diaz-de-Leon, S. Fennessy, J.R. García Márquez, K. Garcia, E.H. Helmer, B. Herrera, B. Klatt, J.P. Ometto, V. Rodríguez Osuna, F.R. Scarano, S. Schill y J.S. Farinaci (eds.)]. IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 41 pp.
- IPBES, 2018b:** *Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services* [M. Fisher, M. Rounsevell, A. Torre-Marín Rando, A. Mader, A. Church, M. Elbakidze, V. Elias, T. Hahn, P.A. Harrison, J. Hauck, B. Martín-López, I. Ring, C. Sandström, I. Sousa Pinto, P. Visconti, N.E. Zimmermann y M. Christie (eds.)]. IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 48 pp.
- IPCC, 2013:** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2014:** *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 pp.
- Jenkins, C.N. y L. Joppa, 2009:** Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological conservation*, 142(10), 2166-2174.
- Jiménez, M., A. Chain y B. Locatelli, 2009:** Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 59-60, 32-4032-40.
- Joppa L.N. y A. Pfaff, 2011:** Global protected area impacts. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.*, 278, 1633-1638.
- Junk, W.J., 2001:** The flood pulse concept of large rivers: learning from the tropics, *SIL Proceedings*, 1922-2010, 27:7, 3950-3953, DOI: [10.1080/03680770.1998.11901733](https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11901733)
- Junk, W.J., S. An, C.M. Finlayson, B. Gopal, J. Květ, S.A. Mitchell y R.D. Robarts, 2013:** Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic sciences*, 75(1), 151-167.
- Keeley, J.E., J.G. Pausas, P.W. Rundel, W.J. Bond y R.A. Bradstock, 2011:** Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science*, 16(8):406-11
- Klein, R.J., E.L.F. Schipper y S. Dessai, 2005:** Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental science & policy*, 8(6), 579-588.
- Koepke, D.F., T.E. Kolb y H.D. Adams, 2010:** Variation in woody plant mortality and dieback from severe drought among soils, plant groups, and species within a northern Arizona ecotone. *Oecologia*, 163(4), 1079-1090.
- Kok, M.T.J. y H.C. De Coninck, 2007:** Widening the scope of policies to address climate change: directions for mainstreaming. *Environmental science & policy*, 10(7-8), 587-599.

- Koutroulis, A.G., L.V. Papadimitriou, M.G. Grillakis, I.K. Tsanis, K. Wyser y R.A. Betts, 2018:** Freshwater vulnerability under high end climate change. A pan-European assessment. *Science of the Total Environment*, 613-614, 271-286, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.074>
- Larson, J., N. Moncada, C. Ruiz y P. Salinas, 2016:** Parque Nacional Torres del Paine con buena «cicatrización». *Chile Forestal*, 383, 30-32.
- Lazos-Chavero, E., T.H. Mwampamba y E. García-Frapolli, 2018:** Uncovering links between livelihoods, land-use practices, vulnerability and forests after hurricane Jova in Jalisco, México. *Forest ecology and management*, 426, 27-38.
- Leal Rivera, J.C., M. Miranda Quirós y M. Gutiérrez Miranda, 2018:** Rehabilitación de ecosistemas de humedal como medida de adaptación a los impactos de la variabilidad climática: El caso del sitio Ramsar Palo Verde, humedales Mata Redonda y Corral de Piedra. *Revista Ambientico*, 266, 58-65, http://www.ambientico.una.ac.cr/rev_ambientico.php?revID=266
- Lemus M. A. Maureira y M. Ortega, 2016:** La Rufina: una experiencia pionera. *Chile Forestal*, 383:20-21.
- Life ADAPTAMED, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=5248
- Life ADAPTAMED, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.lifeadaptamed.eu/>
- Life Boscos, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3280
- Life Boscos, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://lifeboscos.cime.es/portal.aspx?IDIOMA=2>
- Life Canal, 2019:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3157
- Life Green Link, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=5669
- Life Green Link, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://thegreenlink.eu/es/inicio/>
- Life MEDACC, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4690
- Life MEDACC, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://medacc-life.eu/>
- Life Mix For Change, 2019:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=5673
- Life MONTADO, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=5658
- Life MONTADO, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.lifemontadoadapt.com/?p=81>
- Life Shara, 2019:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://fundacion-biodiversidad.es/es/cambio-climatico-y-calidad-ambiental/proyectos-propios/life-shara>
- Lim, B. y E. Spanger-Siegfried (eds.), 2006:** *Marco de políticas de adaptación al cambio climático: Desarrollo de políticas, estrategias y medidas*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, New York.
- Locatelli, B., G. Fedele, V. Fayolle y A. Baglee, 2016:** Synergies between adaptation and mitigation in climate change finance. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 8(1), 112-128.
- Madrigal-González, J., A. Herrero, P. Ruiz-Benito y M.A. Zavala, 2017:** Resilience to drought in a dry forest: insights from demographic rates. *Forest ecology and management*, 389, 167-175.
- Maestre, F.T., C. Escolar, M.L. de Guevara, J.L. Quero, R. Lázaro, M. Delgado-Baquerizo, V. Ochoa, M. Berdugo, B. Gozalo y A. Gallardo, 2013:** Changes in biocrust cover drive carbon cycle responses to climate change in drylands. *Global Change Biology*, 19(12), 3835-3847.
- Maglianesi, M.A., 2016:** Efectos del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América tropical. *Ingeniería*, 11-20, <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/25272/25540>
- Magrín, G., 2015:** *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. CEPAL, <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>
- Magrín, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano y S. Vicuña, 2014:** Central and South America. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA, pp. 1499-1566.
- Manson, R.H. y E.J. Jardel Peláez, 2009:** Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En: *Capital natural de México: vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 131-184.
- Martínez-Austria, P.F. y C. Patiño-Gómez, 2012:** Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20.
- Martínez-Fernández, V., E. González, J.C. López-Almansa, S.M. González y D. García de Jalón, 2017:** Dismantling artificial levees and channel revetments promotes channel widening and regeneration of riparian vegetation over long river segments. *Ecological Engineering*, 108, 132-142.
- Matías, L., R. Zamora y J. Castro, 2012:** Sporadic rainy events are more critical than increasing of drought intensity for woody species recruitment in a Mediterranean community. *Oecologia*, 169(3), 833-844.
- Mitsch, W.J., A. Nahlik, P. Wolski, B. Bernal, L. Zhang y L. Ramberg, 2010:** Tropical wetlands: seasonal hydrologic pulsing, carbon sequestration, and methane emissions. *Wetlands ecology and management*, 18(5), 573-586.
- Mitsch, W.J., L. Zhang, K.C. Stefanik, A. M. Nahlik, C.J. Anderson, B. Bernal, M. Hernandez y K. Song, 2012:** Creating wetlands: primary succession, water quality changes, and self-design over 15 years. *Bioscience*, 62(3), 237-250.
- MMA, 2014:** *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.

- MMA**, 2016: *Plan de Acción de Cambio climático 2017-2022 (PANCC-II)*. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- Monzón, J., L. Moyer-Horner y M.B. Palamar**, 2011: Climate change and species range dynamics in protected areas. *Bioscience*, 61(10), 752-761.
- Morera, S.B., T. Condom, A. Crave, P. Steer y J.L. Guyot**, 2017: The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports*, 7, 11947, DOI: 10.1038/s41598-017-12220-x
- Munang, R., I. Thiaw, K. Alverson, M. Mumba, J. Liu y M. Rivington**, 2013: Climate change and Ecosystem-based Adaptation: a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1), 67-71.
- Nicholls, R.J.**, 2004: Coastal flooding and wetland Loss in the 21st century: Changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 69-86.
- O'Donnell, C., J. Recharte y A. Taber**, 2016: Climate change, mountain people and water resources-the experiences of the Mountain Institute, Peru. *Unasylva*, 67(246), 75-80.
- Oficina Española de Cambio Climático**, 2008: *Plan Nacional de adaptación al cambio climático. Primer programa de trabajo. Primer informe de seguimiento. 2008*. Secretaría de Estado de Cambio Climático. Documento consultado el 4 de febrero de 2018, http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/1_informe_seguimineto_pnacc_tcm7-197097.pdf
- Oficina Española de Cambio Climático**, 2011: *Plan Nacional de adaptación al cambio climático. Segundo informe de seguimiento. Mayo-2011*. Secretaría de Estado de Cambio Climático. Documento consultado el 4 de febrero de 2018, http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2_prog_trabajo_tcm7-197100.pdf
- Oficina Española de Cambio Climático**, 2014: *Plan Nacional de adaptación al cambio climático. Tercer informe de seguimiento. Enero-2014*. Secretaría de Estado de Cambio Climático. Documento consultado el 4 de febrero de 2018, http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/3_informe_seguimiento_pnacc_tcm7-312797.pdf
- Oliver, T.H., M.S. Heard, N.J. Isaac, D.B. Roy, D. Procter, F. Eigenbrod, R. Freckleton, A. Hector, D.L. Orme, O.L. Petchey, V. Proença, D. Raffaelli, K. Blake Suttle, G.M. Mace, B. Martín-López, B.A. Woodcock y J. M. Bullock**, 2015: Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology and Evolution*, 30, 673-684.
- Oliveras, I., C. Girardin, C.E. Doughty, N. Cahuana, C.E. Arenas, V. Oliver, W. Huaraca Hausco y Y. Malhi**, 2014: Andean grasslands are as productive as tropical cloud forests. *Environmental Research Letters*, 9(11), 115011.
- Opdam, P. y D. Wascher**, 2004: Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research conservation. *Biological Conservation*, 117, 285-297.
- Órbigo**, 2019a. Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://vimeo.com/67873348>
- Órbigo**, 2019b. Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.iagua.es/noticias/videos/14/01/29/restauracion-de-rios-y-prevencion-de-inundaciones-el-ejemplo-del-orbigo-44273>
- Pacto Mata Atlántica**, 2019. Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.pactomataatlantica.org.br>
- Palmer J.**, 2017: Chile's glacial lakes pose newly recognized flood threat. *Science*, 355, 1004-1005.
- Palmer, M.A., D.P. Lettenmaier, N.L. Poff, S.L. Postel, B. Richter y R. Warner**, 2009: Climate Change and River Ecosystems: Protection and Adaptation Options. *Environmental Management*, 44, 1053-1068.
- Pausas, J.G.**, 2004: Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change*, 63(3), 337-350.
- Pecl, G.T., M.B. Araújo, J.D. Bell, J. Blanchard, T.C. Bonebrake, I.C. Chen, T.D. Clark, R.K. Colwell, F. Danielsen, B. Evengard, L. Falconi, S. Ferrier, S. Frusher, R.A. Garcia, R.B. Griffis, A.J. Hobday, C. Janion-Scheepers, M.A. Jarzyna, S. Jennings, J. Lenoir, H.I. Linnéved, V.Y. Martin, P.C. McCormack, J. McDonald, N.J. Mitchell, T. Mustonen, J. M. Pandolfi, N. Pettorelli, E. Popova, S.A. Robinson, B.R. Scheffers, J.D. Shaw, C.J. B. Sorte, J. M. Strugnell, J.M. Sunday, M-N. Tuanmu, A. Vergés, C. Villanueva, T. Wernberg, E. Wapstra y S.E. Williams**, 2017: Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355, eaai9214.
- Peñuelas, J. y M. Boada**, 2003: A global change induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global change biology*, 9(2), 131-140.
- Peñuelas, J., J. Sardans, I. Filella, M. Estiarte, J. Llusià, R. Ogaya, J. Carnicer, M. Bartrons, A. Rivas-Ubach, O. Grau, G. Peguero, O. Margalef, S. Pla-Rabés, C. Stefanescu, D. Asensio, C. Preece, L. Liu, A. Verger, L. Rico, A. Barbeta, A. Achotegui-Castells, A. Gargallo-Garriga, D. Sperlich, G. Farré-Armengol, M. Fernández-Martínez, D. Liu, C. Zhang, I. Urbina, M. Camino, M. Vives, D. Nadal-Sala, S. Sabaté, C. Gracia y J. Terradas**, 2017: Assessment of the impacts of climate change on Mediterranean terrestrial ecosystems based on data from field experiments and long-term monitored field gradients in Catalonia. *Environmental and Experimental Botany*, 152, 49-59.
- Pereira, H.M., T. Domingos, L. Vicente y V. Proença (eds.)**, 2009: *Ecosistemas e Bem-Estar Humano. Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora, https://www.researchgate.net/publication/271846628_Ecosistemas_e_bem-estar_humano_avaliacao_para_Portugal_do_Millennium_Ecosystem_Assessment
- Pérez, C.A. y J.J. Armesto**, 2018: Coupling of microbial nitrogen transformations and climate in sclerophyll forest soils from the Mediterranean Region of central Chile. *Science of the Total Environment*, 625, 394-402.
- Pérez CA, M.R. Carmona, J.C. Aravena, J.M. Fariña y J.J. Armesto**, 2009: Environmental controls and cumulative radial increment of evergreen tree species in montane, temperate rainforests of Chiloé Island, southern Chile. *Austral Ecology*, 34:259-271.
- Petrescu, A.M.R., A. Lohila, J.P. Tuovinen, D.D. Baldocchi, A.R. Desai, N.T. Roulet, T. Vesala, A.J. Dolman, W.C. Oechel, B. Marcolla, T. Friborg, J. Rinne, J.H. Matthes, L. Merbold, A. Mejjide, G. Kiely, M. Sottocornola, T. Sachs, D. Zona, A. Varlagin, D.Y.F. Lai, E. Veenendaal, F.W. Parmentier, U. Skiba, M. Lund, A. Hensen, J. Van Huissteden, L.B. Flanagan, N.J. Shurpali, T. Grünwald, E.R. Humphreys, M. Jackowicz-Korczy ski, M.A. Aurela, T. Laurila, C. Grünig, C.A.R. Corradi, A.P. Schrier-Uijl, T.R. Christensen, M.P. Tamstorf, M. Mastepanov, P.J. Martikainen, S.B. Verma, C. Bernhofer y A. Cescatti**, 2015: The uncertain climate footprint of wetlands under human pressure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(15), 4594-4599.
- PIMA Adapta**, 2019: *Plan PIMA Adapta Agua*. Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.miteco.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/plan-pima-adapta-agua.aspx>

- PIMA Adapta**, 2015: *Memoria de las actuaciones del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (PIMA Adapta) 2015*. Documento web consultado en diciembre de 2019, <http://www.mapama.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/pima-adapta/libro-actuaciones-PIMA.aspx>
- Plieninger, T.**, 2006: Habitat loss, Fragmentation, and Alteration. Quantifying the Impact of Land-use Changes on a Spanish Dehesa Landscape by Use of Aerial Photography and GIS. *Landscape Ecology*, 21(1), 91-105.
- Pliscoff, P.** 2015: *Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de ecosistemas terrestres de Chile*. Informe técnico elaborado por Patricio Pliscoff para el Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile, 63 pp.
- PNUMA** 2016. Resolución 1/8: adaptación basada en los ecosistemas, <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-12/cop-12-dec-20-es.doc>
- Quintana, J.M.** y P. Aceituno, 2012: Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25(1), 1-22.
- Rabatel, A.**, B. Francou, A. Soruco, J. Gomez, B. Cáceres, J.L. Ceballos, R. Basantes, M. Vuille, J.-E. Sicart, C. Huggel, M. Scheel, Y. Lejeune, Y. Arnaud, M. Collet, T. Condom, G. Consoli, V. Favier, V. Jomelli, R. Galarraga, P. Ginot, L. Maisincho, J. Mendoza, M. Menegoz, E. Ramirez, P. Ribstein, W. Suarez, M. Villacis y P. Wagnon, 2012: Review article of the current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere Discuss*, 6, 2477-2536
- Red Natura 2000**, 2019: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/>
- REDD/CCAD-GIZ**, 2015: *Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de Honduras*. <http://www.reddccadgiz.org/noticia.php?id=382>
- Reservas Fluviales**, 2019a: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.mapama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/RNF-declaradas.aspx>
- Reservas Fluviales**, 2019b: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-rnf.pdf>
- Restauramos Chile**, 2019: Sitio web consultado en diciembre de 2019, www.restauramoschile.cl
- Ribeiro, M.C.**, J.P. Metzger, A.C. Martensen, F.J. Ponzoni y M.M. Hirota, 2009: The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153.
- Rodríguez, R.R.**, S. Gandolfi, A.G. Nave, J. Aronson, T.E. Barreto, C.Y. Vidal y P.H. Brancalion, 2011: Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1605-1613.
- Rodríguez-Catón, M.**, R. Villalba, M. Morales y A. Srur, 2016: Influence of droughts on *Nothofagus pumilio* forest decline across northern Patagonia, Argentina. *Ecosphere*, 7(7): e01390. 10.1002/ecs2.1390.
- Rojas Y.**, C. Bahamondez, M. Martin, C. Buchner, S. Muller-Using y R. Guiñez, 2016: *Medidas de Adaptación al Cambio Climático de los Ecosistemas Forestales*. Informe técnico 208, INFOR.
- Romero-Díaz, A.**, J.D. Ruiz-Sinoga, F. Robledano-Aymerich, E.C. Brevik y A. Cerdà, 2017: Ecosystem responses to land abandonment in Western Mediterranean Mountains. *Catena*, 149, 824-835.
- Ruthsatz, B.**, 2008: Hartpolstermoore der Hochanden NW-Argentinien als Indikatoren für Klimagradienten. *Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein Hamb*, 65, 209-238.
- Ruthsatz, B.**, 2012: Vegetación y ecología de los bofedales alto-andinos de Bolivia. *Phytocoenologia*, 42 (3-4), 133-179.
- Salazar, A.**, G. Baldi, M. Hirota, J. Syktus y C. McAlpine, 2015: Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Global and Planetary Change*, 128, 103-119.
- Salazar, L.F.**, C.A. Nobre y M.D. Oyama, 2007: Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34(9), L09708.
- Sánchez Martínez, F.J.**, 2015: *La importancia de la participación pública y educación ambiental en los proyectos de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*, versión noviembre de 2015. Primeras jornadas de educación ambiental de la Confederación Hidrográfica del Tajo, MAGRAMA, Gobierno de España. Documento consultado el 16 de enero de 2020, <http://www.chtajo.es/Servicios/Biodiversidad/JornadasTécnicas/Documents/Educaci%C3%B3nAmbiental/MAGRAMA-ESTRATEGIA%20NACIONAL%20DE%20RESTAURACION%20DE%20RIOS.pdf>
- Scarano, F.R.** y P. Ceotto, 2015: Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity and Conservation*, 24(9):2319-31.
- Seddon, A.W.**, M. Macias-Fauria, P.R. Long, D. Benz y K.J. Willis, 2016: Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 531(7593), 229-232.
- Segan, D.B.**, K.A. Murray y J.E.M. Watson, 2016: A global assessment of current and future biodiversity vulnerability to habitat loss-climate change interactions. *Global Ecology and Conservation*, 5, 12-21.
- SEMARNAT**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012: *Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México DF.
- SEMARNAT**, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014: *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)*. México.
- Sgro, C.M.**, A.J. Lowe y A.A. Hoffmann, 2011: Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evolutionary Applications*, 4(2), 326-337.
- Sisvuclima**, 2019. Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.sisvuclima.com.br/>
- Song, X.P.**, M.C. Hansen, S.V. Stehman, P. V. Potapov, A. Tyukavina, E.F. Vermote y J.R. Townshend, 2018: Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560(7720), 639-643.
- Steffen, W.**, K. Richardson, J. Rockström, S.E. Cornell, I. Fetzer, E.M. Bennett, R. Biggs, S.R. Carpenter, W. de Vries, C.A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G.M. Mace, L.M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers y S. Sörlin, 2015: Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855.
- Suarez M.L.**, L. Ghermendi y T. Kitsberger, 2004: Factors predisposing tree mortality in *Nothofagus*-site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology*, 92, 954-66.
- Suarez, M.L.** y T. Kitzberger, 2008: Recruitment patterns following a severe drought: long-term compositional shifts in Patagonian forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(12), 3002-3010.

- Sunday, J.M., A.E. Bates, M.R. Kearney, R.K. Colwell, N.K. Dulvy, J.T. Longino y R.B. Huey, 2014:** Thermal-safety margins and the necessity of thermoregulatory behavior across latitude and elevation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(15), 5610-5615.
- Swart, R.O.B. y F. Raes, 2007:** Making integration of adaptation and mitigation work: mainstreaming into sustainable development policies? *Climate policy*, 7(4), 288-303.
- Tamera, 2019a:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.tamera.org/project-groups/autonomy-ecology>
- Tamera, 2019b:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.youtube.com/watch?v=4hF2QL0D5ww>
- Tamera, 2019c:** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=dzgrGatVY3E>
- Tol, R.S., 2005:** Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. *Environmental Science & Policy*, 8(6), 572-578.
- Torres, I., A. Parra, J.M. Moreno y W. Durka, 2018:** No genetic adaptation of the Mediterranean keystone shrub *Cistus ladanifer* in response to experimental fire and extreme drought. *Plos one*, 13(6), e0199119.
- Torres, I., B. Pérez, J. Quesada, O. Viedma y J.M. Moreno, 2016:** Forest shifts induced by fire and management legacies in a *Pinus pinaster* woodland. *Forest Ecology and Management*, 361, 309-317.
- Trenberth, K.E., A. Dai, G. Van Der Schrier, P.D. Jones, J. Barichivich, K.R. Briffa y J. Sheffield, 2014:** Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17-22.
- Turetsky, M.R., B. Benscoter, S. Page, G. Rein, G.R. van der Werf y A. Watts, 2015:** Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 8(1), 11-14.
- UK Met Office. INECC, 2013:** *Climate: observations, projections and impacts. Summary factsheet Mexico*, <http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/policy-relevant/obs-projections-impacts>
- UNEP, 2010:** *Environment Outlook of Latin America and Caribbean* (GEO-Latin America and the Caribbean 3, 380 pp., <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8663>
- UNEP, ECLAC, and UNEP-GRID Arendal, 2010:** *Vital Climate Change Graphics for Latin America and the Caribbean*, 40 pp., https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/s_document/189/original/LAC_Web_eng_2011-01-03.pdf?1486715357
- Urbieto, I.R., M. Franquesa, O. Viedma y J.M. Moreno, 2019:** Fire activity and burned forest lands decreased during the last three decades in Spain. *Annals of Forest Science*, 76(3), 90.
- Valladares, F., J. Peñuelas y E. de Luis Calabuig, 2005:** Impactos sobre los ecosistemas terrestres. En: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático* [J.M. Moreno Rodríguez (ed.)], Ministerio de Medio Ambiente, pp. 65-112.
- Van der Werf, G.R., J.T. Randerson, L. Giglio, G.J. Collatz, M. Mu, P.S. Kasibhatla, D.C. Morton, R.S. De Fries, Y. Jin y T.T. Van Leeuwen, 2010:** Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric chemistry and physics*, 10(23), 11707-11735.
- Venegas-González A, F. Roig, A. Gutiérrez y M. Tomazello, 2018:** Recent radial growth decline in response to increased drought conditions in the northernmost *Nothofagus* populations from South America. *Forest Ecology and Management*, 409, 94-104.
- Vergara, W., 2009:** *Assessing the potential consequences of climate destabilization in Latin America (English)*. Latin America and Caribbean Region sustainable development working paper, n.º 32. Washington DC, World Bank Group, 117 pp. <http://documents.worldbank.org/curated/en/898351468242097991/Assessing-the-potential-consequences-of-climate-destabilization-in-Latin-America>
- Vicente-Serrano S.M. y A. Heredia-Laclaustra, 2004:** NAO influence on NDVI trends in the Iberian Peninsula (1982–2000). *Int J Rem Sens*, 25, 2871-2879.
- Vidal-Macua, J.J., M. Ninyerola, A. Zabala, C. Domingo-Marimon y X. Pons, 2017:** Factors affecting forest dynamics in the Iberian Peninsula from 1987 to 2012. The role of topography and drought. *Forest ecology and management*, 406, 290-306.
- Villers, L. y I. Trejo, 1998:** Impacto del cambio climático en los bosques y áreas naturales protegidas de México. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología*, 23(1), 10-19.
- Viviroli, D., D.R. Archer, W. Buytaert, H.J. Fowler, G.B. Greenwood, A.F. Hamlet, Y. Huang, G. Koboltschnig, M.I. Litaor, J.I. Lopez-Moreno, S. Lorentz, B. Schadler, K. Schwaiger, M. Vuille y R. Woods, 2010:** Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and politics. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7, 2829-2895.
- Walter C., C.A. Pérez y F.M. Thomas, 2016:** Weather or weathering? Growth of *Nothofagus dombeyi* on volcanic soils differing in nitrogen and phosphorus concentrations. *Journal of Plant Ecology*, 9, 596-607.
- Waterchange, 2019a.** Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://www.cuadll.org/modules/home/files/1-Water_Change_.pdf
- Waterchange, 2019b.** Sitio web consultado en diciembre de 2019, <https://www.iagua.es/blogs/cetaqua/proyecto-life-water-change-considerar-el-cambio-global-en-la-gestion-de-los-recursos-hidricos>
- Watson, J.E.M., T. Iwamura y N. Butt, 2013:** Mapping vulnerability and conservation adaptation strategies under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 989-994.
- Wehner, M., D.R. Easterling, J.H. Lawrimore, R.R. Heim Jr., R.S. Vose y B.D. Santer, 2011:** Projections of future drought in the continental United States and Mexico. *Journal of Hydrometeorology*, 12(6), 1359-1377.
- Wiens, J.A., N.E. Seavy y D. Jongsomjit, 2011:** Protected areas in climate space: What will the future bring? *Biological Conservation*, 144(8), 2119-2125.
- WWAP, Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos/ONU-Agua, 2018:** *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, UNESCO.
- Yahdjian, L. y O.E. Sala, 2008:** Climate change impacts on South American rangelands. *Rangelands*, 30(3), 34-39.
- Zavala-Hidalgo, J., R. de Buen, K.R. Romero-Centeno y F. Hernández-Maguey, 2010:** Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En: *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* [Botello, V.A., S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez y J.L. Rojas-Galaviz (eds.)]. SEMARNAT-INE-UNAM- ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, pp. 249-268.
- Zehetner, F., y W.P. Miller, 2006:** Erodibility and runoff-infiltration characteristics of volcanic ash soils along an altitudinal climosequence in the Ecuadorian Andes. *Catena*, 65(3), 201-213.

Zhang, K., A.D. de Almeida Castanho, D.R. Galbraith, S. Moghim, N. M. Levine, R.L. Bras, M.T. Coe, M.H. Costa, Y. Malhi, M. Longo, R. G. Knox, S. McKnight, J. Wang y P.R. Moorcroft, 2015: The fate of Amazonian ecosystems over the coming century arising from changes in climate, atmospheric CO₂ and land-use. *Global Change Biology*, 21: 2569-2587.

Zorrotzaurre, 2019a: Sitio web consultado en diciembre de 2019, <http://www.zorrotzaurre.com/>

Zorrotzaurre, 2019b: Sitio web consultado en diciembre de 2019, http://kitkrak.colaborabora.org/wp-content/uploads/sites/6/2011/07/RegZORROZAURRE_Rosa_Fernandez.pdf

Anexo del Capítulo 3: selección de proyectos sobre soluciones basadas en la naturaleza en la Península Ibérica

Tabla 3.A. Ejemplos de proyectos que incorporan soluciones basadas en la naturaleza para minimizar los efectos del cambio climático en ecosistemas acuáticos en la Península Ibérica. Fuente: elaboración propia.

Caso	País	Localidad	Escala	Objetivo	Actores	Tipo de actuación	Referencias	Otras fuentes
Proyecto life SHARA	España- Portugal	España y Portugal	Supranacional	Fortalecer la gobernanza de la adaptación al cambio climático e incrementar la resiliencia en España y Portugal	Agencias y organismos estatales de España y Portugal	Generar conocimiento; comunicar, sensibilizar y capacitar, y fomentar y reforzar la coordinación y cooperación entre los agentes clave	Life Shara, 2019	-
EPI-WATER Project: reducir la vulnerabilidad a la sequía mediante incentivos económicos	España- Portugal	Río Segura y río Tajo	Supranacional	Combinar las medidas de infraestructura ya existentes con la implementación de un conjunto de incentivos (instrumentos de política económica) para gestionar las sequías	Estatal y autonómico	Fijación de precios de seguridad del agua. Seguro de sequía. Comercialización de los derechos de uso del agua	Epiwater, 2019a	Epiwater, 2019b, Epiwater, 2019c
Reservas fluviales	España	España	Nacional	Las reservas situadas en zonas de cabeceras fluviales aseguran la provisión de distintos servicios ecosistémicos	Estatal y autonómico	Conservación	Reservas Fluviales, 2019a	González et ál. (2015); Reservas fluviales, 2019b
Restablecimiento y gestión de humedales: canal de Castilla (LIFE06/NAT/E/000213)	España	Palencia	Regional	Restauración, manejo y monitoreo de 35 pequeños humedales asociados al canal de Castilla	Fundación Global Nature	Restauración de pequeños humedales	Life Canal, 2019	
Proyecto WATERCHANGE	España	Río Lobregat	Regional	Desarrollar una metodología y herramienta para analizar cómo evolucionan los recursos hídricos a medio y largo plazo en un escenario de cambio global	CETAQUA (Centro Tecnológico del Agua)	Herramienta para elaborar escenarios futuros, evaluar los posibles impactos del cambio climático y proponer estrategias de adaptación	Waterchange, 2019a	Waterchange, 2019b
Proyecto CREAMAgua	España	Comarca Monegros	Regional	Mejorar la calidad del agua procedente de la actividad agrícola y otros servicios ecosistémicos y aumentar la biodiversidad mediante la construcción de humedales y la restauración de la vegetación de ribera	Comarca de los Monegros y entidades públicas y privadas	Construcción y restauración de 16 humedales y restauración ecológica de unas 70 hectáreas de ribera	CreamAgua, 2019a	CreamAgua, 2019b
El distrito de Zorrotzaurre	España	Bilbao	Local	Regenerar un tramo del río Nervión que se inunda para utilizarlo como zona de regeneración urbana	Consorcio público-privado	Restauración y ordenación del territorio	Zorrotzaurre, 2019a	Zorrotzaurre, 2019b
Paisaje de retención de agua de Tamera	Portugal	Tamera (Algarve)	Local	Regenerar un paisaje para restaurar el ciclo del agua y disminuir la vulnerabilidad a las sequías	Privado	Restauración del ciclo del agua	Tamera, 2019a	Tamera, 2019b; Tamera, 2019c
Proyecto de mejora ecológica del Río Órbigo	España	Río Órbigo (León)	Local	Mejorar la conectividad lateral del río con la llanura de inundación eliminando la canalización	Proceso de participación ciudadana. Confederación Hidrográfica del Duero	Restauración del río para minimizar las inundaciones	Barquero y Santillán (2012)	Órbigo, 2019a; Órbigo, 2019b
AQUA-PLANN project	España	A Coruña	Local	Pretende la sostenibilidad de las actividades humanas en una cuenca rural y mejorar la coordinación de los gestores del agua	Organismos locales y regionales con participación ciudadana	Mejora del abastecimiento de agua, saneamiento de aguas residuales y gestión integral de la cuenca	Aquaplan, 2019a	Aquaplan, 2019b

Tabla 3.B. Ejemplos de proyectos que incorporan soluciones basadas en la naturaleza para minimizar los efectos del cambio climático en ecosistemas terrestres en la Península Ibérica. Fuente: elaboración propia.

Caso	País	Localidad	Escala	Objetivo	Actores	Tipo de actuación	Referencias	Otras fuentes
Red Natura 2000	España y Portugal (y resto UE)	-	Supranacional, nacional, autonómica	Red internacional de áreas de conservación en forma de Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Importancia para las Aves (ZEPA). Pretende gestión sostenible de sus territorios. Posibilita la creación de corredores ecológicos	Agencias y organismos estatales y autonómicos	Conservación, conectividad	Red Natura 2000, 2014	-
Proyecto LIFE-ADAPTAMED	España	Andalucía	Local	Protección de servicios ecosistémicos en ambientes mediterráneos, incluyendo montaña y zonas áridas	Agencias y organismos estatales y autonómicos	Gestión forestal, siembra o plantación, retirada de competidores, restauración	Life ADAPTAMED, 2019a	Life ADAPTAMED, 2019b
Plan PIMA Adapta 2015	España	Parques nacionales	Local	Adaptación de masas forestales, creación de hábitats para anfibios	Agencias y organismos estatales	Mejora de hábitats, gestión forestal adaptativa	PIMA Adapta, 2015	-
Adaptación a la sequía en ambientes agrosilvopastorales	Portugal	Alentejo	Local	Gestión agrícola para reducir vulnerabilidad a sequía	Privado	Reducción de estrés hídrico y de la erosión, diversificación de cultivos, mantenimiento y expansión de sistemas agrosilvopastorales tradicionales	Alentejo, 2019	-
Adaptación al cambio climático en sierra de Ayllón	España	Red Natura 2000, sierra de Ayllón	Local	Conservación y mejora de resiliencia en ecosistemas de montaña	Organismos autonómicos	Restauración, ordenación uso público y ganadero, tratamientos silvícolas	Ayllón, 2019	-
Proyecto LIFE-MONTADO adapt	Portugal, España	Áreas piloto en España y Portugal	Local	Alcanzar sostenibilidad económica, social y ambiental	Organismos públicos y privados	Establecimiento de sistemas integrados de gestión de la dehesa	Life MONTADO, 2019a	Life MONTADO, 2019b
Proyecto LIFE-MEDACC	España	Cuencas de los ríos Muga, Ter y Segre (Cataluña)	Local	Testar medidas de adaptación en consumo de agua, en agricultura y en bosques	Organismos autonómicos	Gestión forestal, técnicas agrícolas para reducir el uso de agua	Life MEDACC, 2019a	Life MEDACC, 2019b
Proyecto LIFE+Boscos	España	Isla de Menorca	Regional	Desarrollo de gestión forestal sostenible	Organismos autonómicos	Gestión forestal adaptativa: reducción de competencia, desbrozado de matorral, favorecimiento de regeneración por semilla, favorecimiento del pastoreo, restauración hidrológica	Life Boscos, 2019a	Life Boscos, 2019b
Proyecto LIFE-MixForChange	España	Cataluña	Regional	Mejora de la resiliencia de bosques mixtos mediterráneos subhúmedos	Organismos autonómicos y privados	Gestión forestal, desarrollo de herramientas para promover la sostenibilidad económica de productos forestales	Life MixForChange, 2019	-
Proyecto LIFE The Green Link	España y otros países del Mediterráneo	Cataluña, Almería, Valencia, Gran Canaria, Cataluña, Ptolemaida	Local	Desarrollo de un sistema de plantación sin riego que aumente la supervivencia en zonas áridas	Organismos públicos y privados	Preparación, implementación y seguimiento del sistema de plantación	Life Green Link, 2019a	Life Green Link, 2019b

