

Biodiversidad y el cambio antrópico del clima: ejes temáticos que orientan la generación de conocimiento para la gestión frente al fenómeno*

Biodiversity and Anthropic Climate Change: Main Themes to Guide the Production of Knowledge for the Handling of the Phenomenon

La biodiversité et le changement anthropique climatique: les axes thématiques qui dirigent la génération de la connaissance pour la gestion face au phénomène

Lorena Franco Vidal**, Diana Carolina Useche***, Sandra Hernández****

Recibido: 2012-08-10 // Aceptado: 2012-08-20 // Evaluado: 2012-10-25 // Publicado: 2013-06-30

Cómo citar este artículo: Franco Vidal, L., Useche, D. C., y Hernández, S. (2013). Biodiversidad y el cambio antrópico del clima: ejes temáticos que orientan la generación de conocimiento para la gestión frente al fenómeno. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 79-96.

Código SICI: 0121-7607(201301)17:32<79:BCACGC>2.0.TX;2-C

Resumen

El cambio climático puede resultar en transformación y pérdida de la biodiversidad, afectación de servicios ecosistémicos y de las comunidades humanas que dependen de ellos para su bienestar y la respuesta al fenómeno. Con el fin de orientar la gestión de la biodiversidad frente al cambio climático se deben conocer múltiples aspectos, más allá de los biológicos y fisiológicos. En este trabajo se plantean cuatro ejes temáticos para generar conocimiento, de manera amplia e integral, para apoyar la gestión de la biodiversidad ante el fenómeno climático. Estos ejes son: i) Dinámica ecológica y cambio climático; ii) Biodiversidad y servicios ecosistémicos; iii) Biodiversidad y el sistema climático y, iv) Biodiversidad y las respuestas de la sociedad frente al cambio climático.

Palabras clave: biodiversidad, cambio climático, servicios ecosistémicos, resiliencia.

Palabras clave descriptores: diversidad biológica, cambio climático, resiliencia, ecología-aspectos sociales.

* Este artículo es de revisión o síntesis de investigación, en donde se analizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, relacionadas con la biodiversidad y el cambio antrópico del clima, con el fin de identificar temas relevantes de investigación para orientar la gestión de la biodiversidad frente al fenómeno climático.

** Microbióloga y MSc en Ciencias Biológicas. Investigadora de la Fundación Humedales y estudiante del doctorado en Geografía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Email: lfranco@fundacionhumedales.org

*** Ecóloga y MSc en Manejo y conservación de bosques tropicales y biodiversidad. Fue investigadora del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Email: dcuseche@gmail.com

**** Bióloga Marina y MSc en Ciencias del Mar con énfasis en Pesquerías. Investigadora de la Fundación Humedales. Email: shernandez@fundacionhumedales.org

Abstract

Climate change can result in the transformation and loss of biodiversity, the affectation of ecosystemic services and of human communities depending on them for their wellbeing and their ability to react to the phenomenon. In order to guide the handling of biodiversity in the face of climate change, multiple aspects, apart from the biologic and physiologic ones, must be considered. This paper presents four main themes along which knowledge can be produced in a broad and integral way, in order to support the right handling of biodiversity considering the climatic phenomenon. These are: i) Ecologic dynamic and climate change; ii) Biodiversity and ecosystemic services; iii) Biodiversity and climate system, and iv) Biodiversity and society's answers to climate change.

Key words: biodiversity, climate change, ecosystemic services, resilience.

Key words plus: biological diversity, climate change, resilience, ecology-social aspects.

Résumé

Le changement climatique peut donner comme résultat la transformation et la perte de la biodiversité, l'affectation des services éco-systémiques et les communautés humaines qui dépendent d'eux pour son bien-être et la réponse au phénomène. À fin de diriger la gestion de la biodiversité face au changement climatique, il faut connaître des différents aspects au-delà des ceux biologiques et physiologiques. En cette étude, quatre axes thématiques s'exposent pour créer des connaissances, d'une manière approfondi et intégrale, pour supporter la gestion de la biodiversité face au phénomène climatique. Ces axes sont: i) Dynamique environnementale et changement climatique; ii) Biodiversité et les services éco-systémiques; iii) Biodiversité et le système climatique; et, iv) Biodiversité et les réponses de la société face au changement climatique.

Mots-clés: biodiversité, changement climatique, services éco-systémiques, résilience.

Mots-clés descripteur: biodiversité, changement climatique, résilience, écologie sociale.

Introducción

En los últimos 100 años el sistema climático de la Tierra pasó de estar dominado por procesos naturales internos a estar influenciado de manera significativa por las actividades humanas (Brönnimann et al., 2008). Esta influencia ha originado el cambio climático, un fenómeno que se manifiesta con cambios en la variabilidad de las propiedades del clima y se atribuye directa o indirectamente a las actividades humanas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. El trastorno climático es uno de los motores del cambio global ambiental que puede afectar a la biodiversidad causando transformación de los sistemas naturales y extinción de especies (Kappelle et ál., 1999; Turner et ál., 2010). Entre las causas del cambio antrópico del clima se encuentran los cambios en el uso de la tierra y en la concentración de gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como resultado de las actividades humanas. Por esta razón, en 2007 el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) concluyó que es muy probable que la influencia humana haya contribuido al calentamiento del planeta durante los últimos 50 años (IPCC, 2007). Los GEI ocurren de manera natural en la atmósfera como resultado de los procesos de los organismos vivos, las emisiones geogénicas o los fuegos naturales de los bosques, entre otros factores (Brönnimann et ál., 2008). Los GEI como el gas carbónico (CO_2) y el metano (CH_4) tienen funciones críticas para el clima del planeta porque absorben la radiación infrarroja y atrapan el calor ayudando a mantener las condiciones que requieren los sistemas terrestres para su desarrollo y mantenimiento (Doney y Schimel, 2007).

Sin embargo, desde la revolución industrial las emisiones antrópicas de gases con efecto invernadero han alterado la atmósfera en la escala global (Doney y Schimel, 2007). En este período el CO_2 pasó de ~280 partes por millón por volumen a ~380 en 2007, mientras que el CH_4 aumentó de 650 partes por billón por volumen a 1800 (Doney y Schimel, 2007). Otros gases también resultantes de las actividades humanas son el óxido nitroso, monóxido de carbono y dióxido de sulfuro. Estos también alteran el clima al interferir en el balance de radiación de la atmósfera (Brönnimann et al., 2008). El entendimiento de la dinámica de los GEI permitió establecer que hacia el año 2100 la temperatura global podría incrementarse en el rango de 1,4 - 5,8 °C (IPCC, 2007). Otros efectos, que también pueden ser atribuidos al cambio climático, incluyen alteración en la probabilidad de eventos extremos hidrometeorológicos (IPCC, 2012), cambios en el ciclo del agua y la circulación oceánica. Además, el efecto de la perturbación de los niveles de GEI se amplifica por afectación de otros componentes del sistema climático como el hielo marino y terrestre, el albedo de la vegetación y las nubes y el vapor de agua (Doney y Schimel, 2007).

Dado que, en escalas geológicas e históricas de tiempo, el clima más cálido de la Tierra ha estado asociado con los niveles más altos de gas carbónico, y ha habido variaciones muy importantes del ciclo del carbono en estrecha relación con los cambios del clima (Doney y Schimel, 2007), es de esperarse que el aumento artificial de los GEI acentúe el trastorno climático. Esto permite concluir que las interacciones entre el carbono y el clima tienen el potencial para estabilizar o desestabilizar los sistemas de la Tierra (Doney y Schimel, 2007). Tal es el caso de la biodiversidad cuya dinámica está ligada de manera estrecha con el clima, y por lo tanto, se ve afectada por el cambio climático.

La biodiversidad es la variedad de organismos vivos y los complejos ecológicos de los cuales ellos son parte. Incluye componentes estructurales, funcionales y genéticos, que se derivan de los diferentes niveles de organización biológica, desde organismos individuales hasta especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (Harrington et ál., 2010). Esta definición refleja que para la gestión de la biodiversidad frente al cambio climático, es necesario considerar no solo el nivel de especies o ecosistemas, sino también las interacciones entre ellas y las funciones que las sustentan.

De manera directa, el cambio climático modifica las condiciones de contexto de las especies, comunidades y ecosistemas, desencadenado afectación en los patrones y dinámica de la biodiversidad con el riesgo de extinción. La afectación se extiende a los servicios ecosistémicos y a las comunidades humanas que dependen de ellos para su bienestar y su capacidad de adaptación. Indirectamente, los efectos resultan de las respuestas de la gente frente a la alteración del clima (Turner et ál., 2010).

Por lo tanto, para orientar la gestión de la biodiversidad frente al fenómeno se deben conocer múltiples aspectos, más allá de los biológicos y fisiológicos. En este trabajo se plantean cuatro ejes temáticos que orientan la generación de conocimiento, de manera amplia, para la gestión de la biodiversidad ante el cambio climático: i) Dinámica ecológica y cambio climático; ii) Biodiversidad y servicios ecosistémicos; iii) Biodiversidad y el sistema climático y iv) Biodiversidad y las respuestas de la sociedad frente al cambio climático.

La importancia de entender la interacción entre cambio climático y biodiversidad

El estudio de la relación entre biodiversidad y cambio climático podría enfocarse únicamente desde la perspectiva biológica con el fin de entender los efectos del fenómeno sobre las especies, los ecosistemas y su dinámica. Esto daría información sobre los posibles impactos y respuestas de la biodiversidad y contribuiría a generar conocimiento importante para su manejo.

La perspectiva biológica, aunque esencial, es insuficiente para la gestión integral de los territorios dirigida a disminuir la pérdida de biodiversidad por el fenómeno climático. En países como Colombia donde el bienestar de buena parte de la población humana está ligado directamente con los servicios ecosistémicos de la biodiversidad (MADS, 2012), las preocupaciones por el impacto del fenómeno van más allá de las relacionadas con la importancia biológica de especies y ecosistemas. Por esta razón, se requiere una perspectiva más amplia e integral.

Un enfoque integral demanda conocer aspectos como: la posible respuesta de las especies y ecosistemas ante el trastorno; comprender el papel de los servicios ecosistémicos en la adaptación de la sociedad; entender la función e importancia de la biodiversidad en el sistema climático y la regulación del clima, y, conocer los efectos sobre los sistemas naturales de las respuestas de la sociedad al fenómeno. Estos aspectos, en conjunto, revelan vínculos entre la biodiversidad y el cambio climático que son esenciales en la gestión. Así lo reconocen diferentes iniciativas a nivel mundial y nacional. Este es el caso del enfoque que el IPCC plantea para la elaboración de su Quinto Informe —actualmente en desarrollo— y previsto para publicación entre 2013 y 2014.

En el documento que guía la elaboración del Quinto informe (IPCC, 2011) se establece que los límites y sostenibilidad de la adaptación al cambio climático son dependientes del contexto económico, social y ambiental en el que se debe enfrentar el fenómeno. El Grupo de Trabajo II del IPCC (que evalúa la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos frente al fenómeno) hace referencia a las amenazas a la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano y las situaciones que se requieren enfrentar en el camino de la adaptación y la mitigación del cambio climático (*sensu* IPCC, 2007).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza promueve desde 2009 el enfoque de Adaptación basada en Ecosistemas, AbE, (Andrade et ál., 2011). Este enfoque plantea que las respuestas de la sociedad al fenómeno climático tienen el potencial de beneficiarse haciendo uso de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. La AbE propone la integración de la conservación, el uso sostenible y la restauración de la biodiversidad mientras se permite a las personas adaptarse a los impactos negativos del cambio climático. Esto requiere entender las interacciones que hay entre biodiversidad, servicios ecosistémicos y el fenómeno.

En Colombia, la Política Nacional de Gestión Integral para la Conservación de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) (MADS, 2012) es la respuesta de gestión a los retos que imponen los cambios ambientales, originados por fenómenos locales y globales como el cambio climático, a la biodiversidad. Su objetivo es “[...] promover la gestión integral para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socioecológicos, a escalas nacional, regional y local, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil” (MADS, 2012). Esto es, mantener la capacidad de los sistemas ecológicos y sociales para absorber las perturbaciones de los impactos del cambio ambiental y mantener sus funciones, estructura y el patrón de interacciones característico (Walker y Salt, 2012).

Los objetivos y los esfuerzos de las mencionadas iniciativas requieren que la dinámica conjunta, biofísica y social, frente al fenómeno climático sea entendida para tomar mejores decisiones sobre la biodiversidad en los escenarios de incertidumbre que plantea este fenómeno global.

El vínculo entre biodiversidad y cambio climático

Los cuatro ejes temáticos propuestos aquí para orientar la generación de conocimiento sobre biodiversidad frente al cambio climático son: i) Dinámica ecológica y cambio climático; ii) Biodiversidad y servicios ecosistémicos; iii) Biodiversidad y el sistema climático y, iv) Biodiversidad y las respuestas de la sociedad frente al cambio climático. Es posible que para tomar una decisión en un territorio particular se requiera información de los cuatro ejes, integrando e interpretando de manera articulada el conocimiento generado para proponer estrategias que realmente sean exitosas frente al fenómeno.

Dinámica ecológica y cambio climático

El cambio del clima ha sido un factor de perturbación natural esencial en la configuración de los ecosistemas. La biodiversidad está continuamente transformándose por el clima cambiante y da como resultados los diferentes arreglos de las asociaciones biológicas (Hannah et ál., 2005). Esto está documentado en Colombia con investigaciones en paleoclima y paleobotánica, excepcionales a escala nacional y mundial (ver por ejemplo, Berrío et ál., 2000; Cavelier et ál., 1998; Hooghiemstra, 1999, 2000; Marchant et ál., 2001; Van der Hammen, 1957, 1960, 1974). Sin embargo, el cambio actual del clima con el calentamiento de los últimos 50 años es inusual al menos en los últimos 1300 años (IPCC, 2007), está dominado por la influencia humana (Brönnimann et ál., 2008) y se da en escenarios de destrucción y degradación directa de los ecosistemas de la Tierra y presiones sobre las especies por invasiones biológicas (Hoffmann y Sgrò, 2011). Esto conlleva a que los ajustes requeridos por la biodiversidad para responder al trastorno climático estén por fuera de la capacidad para muchas especies (Noss, 2000; Hoffmann y Sgrò, 2011) y excedan la posibilidad de mantenimiento de procesos y atributos propios para muchos ecosistemas. Por lo tanto, el manejo de un territorio para disminuir la transformación y pérdida de biodiversidad por el cambio climático, debe enfocarse en el mantenimiento de las condiciones de contexto, en las cuales las especies tengan mayores oportunidades de responder y los ecosistemas conserven tasas de procesos característicos y los que son críticos para mantener su integridad ecológica frente a la variación del clima.

En el ámbito de las especies, las respuestas a los cambios ambientales están en función de la plasticidad fenotípica y se relacionan con modificaciones fisiológicas, morfológicas, del comportamiento, del desarrollo, fenológicas y cambios en los rangos de distribución (Steffen et ál., 2009). Las posibles respuestas al fenómeno también dependen de las adaptaciones evolutivas que para algunas especies pueden ser el único camino para persistir, si no pueden responder vía plasticidad fenotípica (Hoffmann y Sgrò, 2011). Las respuestas, sin embargo, están condicionadas por factores que favorecen esta dinámica. Por ejemplo, el desplazamiento de los individuos de una especie, buscando los óptimos climáticos, depende en parte de atributos funcionales que permiten el movimiento en los gradientes climáticos. Sin embargo, esta dinámica será posible solo si la conectividad en el paisaje es adecuada para sustentar el desplazamiento.

Es la relación entre atributos funcionales y el contexto ecosistémico lo que determinaría, en parte, el éxito de las respuestas, aunque, en todo caso, hay una alta incertidumbre en el éxito de dichas respuestas, porque el actual cambio del clima se da a una velocidad y magnitud diferentes de los cambios climáticos. Esto impone tasas de ajuste de las especies que exceden la capacidad de las mismas para responder (Hewitt y Nichols, 2005). Por otra parte, el cambio climático adiciona sus efectos a otras amenazas de pérdida de biodiversidad por causas antrópicas (Hannah et ál., 2005). Por lo tanto, las respuestas de los sistemas naturales al fenómeno climático están afectadas por factores intrínsecos y estos deben incorporarse en el estudio de la relación cambio climático y biodiversidad (además de los cambios en las variables climáticas), ya que en muchos paisajes la respuesta al fenómeno dependerá de dicha interacción (Hannah et ál., 2005).

Factores intrínsecos

Son características de la biodiversidad propias de su naturaleza y carácter ecológico. Determinan, en parte, las respuestas frente al fenómeno climático y una mayor o menor susceptibilidad o sensibilidad (*sensu* IPCC, 2012) a la alteración en las variables del clima. Factores a considerar, en el nivel de especies, son por ejemplo, la dependencia de detonantes ambientales o interacciones para completar el ciclo de vida, el grado de tolerancia a condiciones ambientales o el requerimiento de hábitat (Foden et ál., 2008).

Especies con requerimientos generalizados pueden tener mayores oportunidades de respuesta, mientras que las de requerimientos muy específicos tienen mayor sensibilidad, en especial, si su hábitat o componente del mismo tiene a la vez una alta susceptibilidad a los cambios del clima. Forero-Medina et ál. (2010) analizaron los rangos de distribución altitudinal de 46 especies de anfibios en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) para establecer la disponibilidad de hábitat en escenarios del clima cambiante. Los investigadores concluyeron que especies con rangos altitudinales restringidos son especialmente sensibles a los efectos combinados de la alteración del clima y factores como bajos números poblacionales y el aumento de otras especies que las pueden afectar. Por lo tanto, las poblaciones de anfibios de la Sierra Nevada de Santa Marta pueden disminuir bajo la influencia del fenómeno climático a una tasa mayor de lo esperado (Forero-Medina et ál., 2010).

En el nivel de los ecosistemas los factores intrínsecos tienen que ver con los procesos característicos y con los atributos biofísicos. Por ejemplo, las perturbaciones naturales de los ecosistemas acuáticos, en diferente periodicidad, son indispensables para mantener la conectividad hidrológica. Estas perturbaciones a su vez son esenciales en los procesos de muchas especies, como la búsqueda de alimento, la reproducción o el desarrollo. Un ejemplo se manifiesta en los humedales sometidos a fluctuaciones estacionales del agua (o hidroperíodos en su Brauman et ál., 2007) determinadas por el régimen hidrológico. Los cambios en el hidroperíodo en ríos, lagos, reservorios y humedales en general, son parte del régimen hidrológico natural y están en estrecha relación con el clima (Strhaler y Strhaler, 2005). Esta dinámica influye sobre especies acuáticas como *Prochilodus magdalenae* (bocachico) y *Pseudoplatistoma magdaleniatum* (bague rayado) en la cuenca magdalénica en Colombia. Para estas especies, la existencia de pulsos de inundación asociados con la variabilidad climática es esencial en el ciclo de vida. El caudal de los ríos es indispensable para la deriva de los huevos y su maduración hasta el estadio larval. Las larvas, a través de caños y ríos, son impulsadas por los pulsos de inundación a las ciénagas adyacentes donde continúan su desarrollo hasta preadultos y adultos que se desplazan nuevamente al río para el apareamiento y el desove (Valderrama et ál., 2010). El hidroperíodo puede sufrir alteración drástica por el efecto combinado del cambio climático y las transformaciones en las cuencas hidrográficas, como la pérdida de la interfaz agua-tierra en los cauces de ríos y humedales, atributo esencial que hace posible los eventos de inundación.

Otro ejemplo está en la laguna de Menegua en el río Metica, Orinoquía colombiana, donde Galvis et al. (1989) establecieron que la productividad pesquera dependía en forma directa de las fluctuaciones del nivel del río y sus caudales. Estos procesos están condicionados por el régimen hidrológico de la cuenca, el cual está acoplado funcionalmente con los ecosistemas terrestres circundantes y con los periodos de mayores y menores precipitaciones (Galvis et ál., 1989) ligados con la variabilidad climática.

En Colombia, Poveda (2004) muestra que los caudales de las principales cuencas hidrográficas tienen tendencias decrecientes de $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{año}$ y desplazamiento intra-anual de las temporadas de lluvias. Este fenómeno, en combinación con los efectos de otras alteraciones en las cuencas, como la pérdida de conectividad hidrológica o la deforestación con eliminación de especies nativas con atributos funcionales (*sensu* Casanoves et ál., 2011) que influyen en la cantidad de agua de escorrentía, alteran la periodicidad y la magnitud de los pulsos de inundaciones.

También en los ecosistemas acuáticos hay factores intrínsecos como la profundidad, que determinan respuestas diferentes ante el aumento de la temperatura atmosférica que incide en la temperatura del agua. Al elevarse esta induce cambios en la solubilidad y disminuye el oxígeno. El agua oxigenada previene que el fósforo de los sedimentos se haga disponible o cicle a la columna de agua y ayude así a controlar la eutrofización (Carpenter y Cottingham, 2002). En aguas con baja concentración de oxígeno se libera fósforo atrapado en el sedimento. Esto puede estimular la eutrofización del agua

porque el fósforo queda disponible para el fitoplancton (Walker y Salt, 2006). En cuencas ganaderas y agrícolas estos efectos exacerbaban los síntomas de la eutrofización cultural (Reed-Andersen et ál., 2000) y el ecosistema y la biota sufren cambios indirectamente relacionados con el cambio climático.

Los ecosistemas que dependen directamente de fenómenos atmosféricos para el mantenimiento de regímenes hidrológicos, son muy susceptibles frente al cambio del clima. La susceptibilidad aumenta con la altura (Forero-Medina et ál., 2011) porque, por ejemplo, la ubicación de los cinturones de condensación, que puede variar con el trastorno climático, determina la frecuencia de nieblas que condicionan la existencia de epifitas (Cavelier y Golstein, 1989) importantes en el balance hídrico en muchas cuencas (las andinas, por ejemplo) y las funciones y los servicios ecosistémicos que de ellas se derivan (Bubb et ál., 2004; Tobón, 2009).

Factores extrínsecos

Los factores extrínsecos, o añadidos, incluyen aspectos referentes al estado de los ecosistemas en relación con las acciones humanas. La fragmentación, el cambio en el uso del suelo y en la cobertura, la modificación de la red hídrica y la alteración de ciclos biogeoquímicos, interactúan con el fenómeno climático y perturban los ecosistemas de manera compleja y en diferentes escalas espaciales (García, 2006). Se ha demostrado que en los fragmentos de bosque lluvioso tropical rodeados por tierras agrícolas hay cambios del microclima, en comparación con bosques continuos (y en matrices de mayor naturalidad) en las mismas regiones, con alteración de los flujos de radiación, el viento y el agua (Saunders et ál., 1991). Actividades que produzcan suelos desnudos, colmatación, tipos de vegetación rala que no amortice los cambios de temperatura y precipitación, pueden inducir alteraciones locales del clima y del ciclo del agua. Estas coberturas también facilitan incendios, invasiones biológicas y plagas, contaminación del suelo y el agua por agroquímicos y sobrecarga de materia orgánica, entre otros. La deforestación y la degradación del suelo son dos efectos típicos de las intervenciones humanas en las cuencas ganaderas que acentúan los efectos del cambio climático (Murgueitio, 2002). La adecuada cobertura de vegetación nativa contribuye a disminuir los aportes de sedimentos y contaminantes a los ecosistemas acuáticos cuando, por el fenómeno climático, aumenta la fuerza y frecuencia de aguaceros torrenciales; pero, si no hay vegetación terrestre y acuática y el suelo está degradado, los aportes se incrementan bajo estas condiciones.

La interacción de factores intrínsecos y extrínsecos acentúa los efectos del cambio antrópico del clima sobre la biodiversidad

El patrón de interacciones que se configura por el efecto combinado del cambio climático, los factores intrínsecos de especies y ecosistemas, y los factores extrínsecos que resultan del uso de un territorio, y que lo degradan, pueden acentuar y perpetuar los efectos de la alteración climática. Un ejemplo de estas interacciones se da en los ecosistemas secos que de manera natural tienen bajo índice de aridez (<0,65), resultante de las altas temperaturas del aire, baja humedad, radiación solar elevada y altas tasas naturales de erosión (Stafford et ál., 2009). La sinergia del cambio climático con factores extrínsecos puede provocar cambios irreversibles en características clave de estos ecosistemas. En ellos, los suelos tienden a ser poco profundos y con baja capacidad de almacenamiento de agua, una variable considerada estructurante y crítica frente al cambio climático (Stafford et ál., 2009). También son muy erosionables debido a la baja agregación y poca concentración de materia orgánica. Cuando el arado y pastoreo reducen la cobertura vegetal hasta un nivel crítico, la pérdida de suelos, por vientos y la lluvia, puede reducir más su profundidad afectando a la vez, más, la capacidad de almacenamiento de agua (Stafford et ál., 2009). En escenarios de cambio climático estas interacciones se acentúan y el detonante puede ser el aumento de la torrencialidad concentrada en períodos cortos de tiempo.

Las interacciones complejas que resultan de los efectos del cambio climático y los factores intrínsecos y añadidos de vulnerabilidad sobre los sistemas naturales y humanos, deben conocerse y entenderse para saber cómo manejar y mantener contextos ecológicos que faciliten y sustenten la respuesta de la biodiversidad frente al fenómeno. La creación de una línea base sobre la relación del clima, la biodiversidad y el trastorno climático es de especial relevancia para el monitoreo de los cambios que causan o acentúan la vulnerabilidad al fenómeno.

Biodiversidad y servicios ecosistémicos

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005 por sus siglas en inglés) los servicios ecosistémicos son los beneficios que obtiene la gente de los sistemas naturales (MEA, 2005). Esta definición muestra el vínculo entre sociedad y naturaleza. Una definición más operativa, y con el potencial para guiar la generación de conocimiento sobre servicios ecosistémicos, es la de Thrush y Dayton (2010): los servicios ecosistémicos son las funciones biológicas, físicas y químicas dentro de los ecosistemas que sostienen la vida y el bienestar del ser humano. Es decir, que detrás de cada servicio ecosistémico hay un “trabajo” realizado por la biodiversidad en beneficio de la sociedad. Estas funciones naturales son categorizadas por la MEA (2005) en: servicios ecosistémicos de soporte, provisión, regulación y culturales y están teniendo reconocimiento creciente por la importancia que representan para la sociedad frente al cambio antrópico del clima.

El cambio climático en sinergia con otros determinantes de transformación y pérdida de la biodiversidad, tienen la capacidad para alterar la generación de servicios ecosistémicos y desencadenar impactos extremos (en el sentido del IPCC, 2012) sobre las comunidades humanas expuestas a estos fenómenos. Igualmente, los cambios en los servicios ecosistémicos por cambio climático, limitan las opciones de respuesta de los grupos humanos para adaptarse al fenómeno. Por lo tanto, en la adaptación del manejo para responder al cambio climático se debe enfatizar la gestión adaptativa de los sistemas naturales para mantener las tasas de generación de los servicios ecosistémicos que son críticos frente al fenómeno.

La biodiversidad sustenta la generación de servicios ecosistémicos

Los proveedores de servicios ecosistémicos son poblaciones de especies, comunidades y ecosistemas que a través de interacciones complejas entre ellos y con el medio abiótico dan cuenta de un sinnúmero de beneficios, tangibles e intangibles, para el ser humano (Casanoves et ál., 2011; Hooper et ál., 2005). Por esta razón, necesariamente el concepto de servicio ecosistémico se liga con el de dinámica ecosistémica. También tiene un vínculo directo con la dinámica social, porque la sociedad, receptora de los beneficios de la biodiversidad, determina la escala temporal y espacial de uso de los servicios ecosistémicos, enviando de esta manera señales, positivas o negativas, al sistema proveedor e influyendo así en sus procesos.

De manera convencional el manejo humano de los territorios aísla los sistemas naturales que proveen beneficios y los sistemas de uso (sistemas sociales) (Andrade et ál., 2012). En contraste con la visión convencional (desintegradora), el concepto de servicio ecosistémico lleva al reconocimiento que las funciones (procesos y estructuras de acuerdo con De Groot et ál., 2002) de la biodiversidad son elementos integradores que hacen manifiesta la relación entre los sistemas sociales y naturales (De Groot et ál., 2010; Potschin y Haines-Young, 2011). Por lo tanto, los sistemas biofísicos y su dinámica para la generación de servicios ecosistémicos determinan, en gran medida, pero no de manera exclusiva, la capacidad adaptativa (o la vulnerabilidad si hay degradación ecosistémica) de la sociedad frente a fenómenos como el cambio climático (Reid y Swiderska, 2008; Useche, 2010).

Las temporadas lluviosas de 2010-2011 en Colombia y la sequía que le antecedió en 2009-2010, confirman lo anterior en el país. Los efectos de estas variaciones en la precipitación han revelado la poca flexibilidad que tienen hoy en día muchos sistemas sociales y ecológicos en Colombia para responder a las perturbaciones. Las condiciones extremas del clima (IPCC, 2012) también han confirmado que muchos ecosistemas, los acuáticos por ejemplo, son verdaderos sistemas ecológicos y sociales donde los procesos ecológicos y las respuestas frente a la variación ambiental están estrechamente relacionadas con el componente social (Berkes y Seixas, 2005), y por lo tanto, el manejo debe basarse en esta relación.

En consecuencia, la investigación sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos con el fin de entender la dinámica conjunta frente al cambio climático, debe enfocarse en aspectos como los servicios ecosistémicos que son críticos en escenarios de cambio climático; la manera como fluyen y se aprovechan estos beneficios por la sociedad y, el contexto institucional, social y económico que permite que las funciones de los ecosistemas realmente sean de beneficio, en el largo plazo, en las respuestas humanas de adaptación (IPCC, 2012; Nelson et ál., 2007). La interacción entre estos componentes resulta en una configuración social y ecológica particular frente al cambio climático que debe ser conocida y entendida

para determinar si es lo suficientemente robusta para enfrentar el fenómeno.

Biodiversidad y el sistema climático

El IPCC (2007) define al sistema climático como “el sistema complejo compuesto por hidrósfera, atmósfera, criosfera, biosfera y los factores de forzamiento externo como las erupciones volcánicas y las variaciones solares; el sistema climático está influenciado por factores de forzamiento antrópico como los cambios en el uso del suelo y la composición de la atmósfera”. El clima son las condiciones de la atmósfera que predominan en un lugar y en un período prolongado y que resultan de la dinámica atmosférica y de la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático (Pabón, 2009). Según estas definiciones es evidente que en el clima y su regulación intervienen mecanismos relacionados con la biodiversidad.

Estos mecanismos tienen que ver con los ecosistemas y las especies y su influencia en el ciclo de elementos biogeoquímicos que contribuyen en la estabilidad del clima del planeta, pero que también se pueden emitir como GEI en mayor cantidad y con una dinámica diferente a la natural. Esto afecta los patrones naturales del clima. Un ejemplo es el ciclo del carbono (C) que es uno de los procesos fundamentales del funcionamiento del sistema terrestre y está estrechamente ligado con el clima y con los ecosistemas del planeta (Doney y Schimel, 2007). El sistema acoplado carbono-clima tiene dinámicas en escalas temporales amplias y variadas con implicaciones en los cambios del clima (Doney y Schimel, 2007; Raynaud et ál., 2006; Sabine et ál., 2004). Las emisiones de C desde los sumideros se dan a velocidades mayores que las tasas a las cuales ocurre la captura del carbono atmosférico y su almacenamiento. Es decir, que la concentración de C en la atmósfera puede aumentar muy rápido pero el retorno a niveles bajos, a través de procesos naturales, es muy lento (Doney y Schimel, 2007) arrojando como resultado los cambios en los patrones climáticos.

En los ecosistemas terrestres y acuáticos hay compartimientos, como los suelos de los bosques y el lecho de los humedales que, de manera natural, almacenan carbono por períodos largos o cortos de tiempo, configurando mecanismos que ayudan a mantener los patrones naturales del clima. La pérdida de reservorios de carbono por incendios de bosques y deforestación, o emisiones de metano, cuando se desecan humedales, afectan el clima vía la interacción superficie-atmósfera (Austin et ál., 2003; Brönnimann et ál., 2008) pues cantidades adicionales de GEI se emiten desencadenando afectación como incremento inusual de la temperatura.

La importancia de ecosistemas como los acuáticos continentales, bosques, suelos y el mar en el ciclo de los GEI es notoria (De Groot, 2002; Gruber et ál., 2004). Sin embargo, la investigación y el manejo de los sistemas de la Tierra buscando la mitigación del cambio climático (en el sentido del IPCC, 2007) a través de la disminución de las emisiones de GEI, se enfoca principalmente en los bosques y su papel en el sistema climático y el clima. Esto se debe a que, de acuerdo con el IPCC, la deforestación ha contribuido en un 25% con las emisiones de gases con efecto invernadero (IPCC, 2007). Además, algunas estimaciones de deforestación a gran escala en la región amazónica establecen afectación severa en los patrones de precipitación, reducción de humedad del suelo, aumento de la temperatura de la superficie y épocas secas más severas (Laurance y Williamson, 2001; Shukla et ál., 1990). Esto conllevaría a una mortandad de árboles y otros grupos generando, nuevamente, modificaciones en el sistema climático regional (Laurance y Williamson, 2001).

Sin embargo, en la regulación del clima influyen otros compartimientos, además de los bosques. Esta regulación resulta de otras interacciones entre la atmósfera y la superficie terrestre a través de procesos como el almacenamiento de carbono y agua en los suelos (Brönnimann et ál., 2008).

El suelo es uno de los mayores reservorios de carbono, con cerca de 2500 Gt (Lal et ál., 2007). La cantidad de materia orgánica del suelo en un período determinado refleja el balance de largo plazo entre la tasa de entrada y de salida controlada por los factores de formación del suelo. Entre estos se encuentran el clima, la topografía, el material parental, la biota, el tiempo y la actividad humana (Amundson, 2001). La mayor naturalidad de la cubierta es también un factor crítico en la acumulación de carbono (Lal, 2004) y está ligada con las variaciones de precipitación y temperatura (Amundson, 2001). Cuando la temperatura se eleva, aumenta la salida de carbono y cuando la humedad del suelo disminuye se reduce la descomposición, pero aumenta la temperatura (Gruber et ál., 2004).

El aumento de la concentración de CO_2 indirectamente, hace que se eleve la tasa de respiración en el suelo, debido a que puede inducir a una mayor temperatura. Si hay mayor respiración aumentará la emisión de CO_2 que, a su vez inducirá a que se eleve la temperatura con consecuencias como una mayor respiración (Friedldingstein, 2004.). De esta manera, mayor cantidad de C irá a la atmósfera a través de estos mecanismos que se pueden perpetuar si persiste la transformación de los compartimentos de los ciclos de elementos biogeoquímicos que, como el carbono, tienen una relevancia mayor en el clima. La alteración de estos mecanismos también puede conducir a la desertificación (UNCCD, 2012) en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, y por lo tanto, resultar no solo en aumento de los GEI, si no también en la pérdida de biodiversidad (Davies et ál., 2012).

Entre los ecosistemas acuáticos, el mar es uno de los mayores reservorios de carbono. Tiene 50 veces más carbono que la atmósfera (Le Quéré y Metzl, 2004) y ha capturado cerca del 30% del total de las emisiones antrópicas desde el comienzo de la industrialización (Gruber et ál., 2004). El CO_2 se mueve entre la atmósfera y el agua de mar por difusión molecular a través de un mecanismo llamado bomba de solubilidad, influenciado por la temperatura (Sabine et ál., 2004). Si la temperatura aumenta, menos gas carbónico entrará en el agua porque las aguas frías absorben más gas (Le Quéré y Metzl, 2004). La bomba biológica es el otro mecanismo oceánico a través del cual se transporta carbono de la superficie del mar a las aguas profundas (Sabine et ál., 2004). Está mediado por el fitoplancton que incorpora carbono y otros nutrientes y los lleva al lecho marino (Le Quéré y Metzl, 2004). Si cambian las condiciones climáticas se alterará la tasa a la cual el fitoplancton puede desempeñar esta función.

Los humedales están reconocidos ampliamente como sumideros de carbono (Ramsar, 2002) y además son esenciales en la adaptación humana al fenómeno climático (Le Quesne et ál., 2010). El flujo de carbono en estos ecosistemas está controlado por el clima, los cambios en el uso del suelo y la interacción con otros GEI, como el metano (Gruber et ál., 2004). Los cambios del nivel de agua en un humedal tienen efectos contrapuestos en el flujo de los GEI. La sequía estimula la oxidación de la materia orgánica y hay liberación de CO_2 ; al aumentar el nivel de agua se emite menos carbono pero se estimula la descomposición anaeróbica y hay mayor liberación de CH_4 . Con el aumento de la temperatura la emisión de CO_2 y el CH_4 también aumenta (Gruber et ál., 2004).

La interacción entre los GEI en los humedales requiere de análisis crítico cuando se plantea la adaptación de las comunidades humanas frente a los eventos e impactos extremos del clima; también en las estrategias de mitigación de GEI. Por ejemplo, un aspecto importante a considerarse es el hidrológico. En Colombia los atributos que definen hoy en día el carácter ecológico y los servicios de los humedales alto andinos son climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, bióticos y sociales (Franco et ál., en prensa). En el aspecto hidrológico la heterogeneidad es amplia encontrándose en la región humedales con extensos espejos de agua y también sistemas palustres y de turberas donde el nivel freático es alto pero no tienen espejo de agua (Franco y Andrade, 2005). Las acciones de adaptación y mitigación de GEI deben considerar de manera explícita estas particularidades hidrológicas para evitar desencadenar emisiones de CO_2 y CH_4 , cuando se drenan humedales, para evitar inundaciones, o cuando se aumenta el espejo de agua, para tener reservas durante los eventos de sequía (Franco et ál., en preparación).

Las acciones humanas afectan de forma diversa el ciclo del carbono y de los otros elementos que pueden ir a la atmósfera como GEI. Los factores directos de afectación están ligados con los cambios en el uso del suelo y la transformación de los ecosistemas. Estimaciones globales dan cuenta de cerca de 40 Pg de carbono almacenado en la biomasa viva que pueden estar en riesgo de emitirse a la atmósfera en los próximos 20 años, y más de 100 Pg durante el siglo XXI (Gruber et ál., 2004). Conocer los reservorios naturales de los elementos que pueden ir a la atmósfera como GEI, la tasa de la acumulación en ellos, junto con las acciones humanas que ponen en riesgo de perturbación los ciclos de estos elementos, es de relevancia mayor en la gestión de la biodiversidad frente al fenómeno. Este conocimiento en combinación con información sobre el estado de los ecosistemas y las intervenciones humanas actuales (y las proyectadas) contribuiría a aproximar la vulnerabilidad de los ciclos biogeoquímicos. Se podrían diseñar estrategias para evitar emisiones por perturbación de reservorios naturales de GEI, y al mismo tiempo, se tendrían beneficios de conservación y mejoramiento de la resiliencia de la biodiversidad frente al fenómeno climático.

Biodiversidad y las respuestas de la sociedad frente al cambio climático

Las comunidades humanas responden a los impactos del cambio climático con ajustes a las actividades económicas, cambiando las prácticas de uso de la tierra o modificando el diseño de infraestructuras, entre otras acciones (Adger et ál., 2011). Los sistemas naturales que sustentan en buena medida la adaptación de la sociedad frente a la variabilidad y el cambio climático, están sometidos también a los impactos directos del fenómeno. Sin embargo, su dinámica para ajustarse a las nuevas condiciones está determinada por el contexto ecológico en el que se encuentran y las intervenciones humanas que lo cambian, limitando, o impidiendo, las posibles respuestas de la biodiversidad (ver sección 3.1 de este documento).

Las interacciones entre las respuestas de la sociedad frente al cambio climático y el impacto del fenómeno sobre los ecosistemas, pueden resultar en cambios irreversibles de sus funciones y funcionalidad de largo plazo. Este aspecto sin embargo, como causante de afectación sobre la biodiversidad, recibe menos atención en comparación con los impactos directos, aunque sus efectos pueden ser iguales o mayores (Turner et ál., 2010).

Las acciones humanas frente al cambio climático y la variabilidad climática se enfocan en reducir, para cada período del extremo climático, la afectación que las variaciones del clima característicamente conllevan. Por ejemplo, sequía o inundación. Este enfoque de gestión, reactivo y de corto plazo, reduce las posibilidades de un sistema de ser flexible a la diversidad de condiciones que resultan por variabilidad climática, cambio climático y la interacción con otras causas del cambio ambiental. De esta manera, aumenta la vulnerabilidad de mediano y corto plazo de los sistemas ecológicos y sociales (IPCC, 2012). La flexibilidad es crítica en la capacidad adaptativa de los sistemas ecológicos y sociales (Turner et ál., 2003). Al reducirla se excluyen dinámicas ecológicas fundamentales en el mantenimiento de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos frente al cambio climático. Entre las causas de los tipos de respuestas que buscan soluciones de corto plazo, con las consecuencias anteriormente descritas, se encuentran las siguientes:

- Muchos sistemas sociales están consolidados sobre la base de la variabilidad climática e hidrológica de magnitud y frecuencias conocidas. Es el caso de los sistemas de producción consolidados sobre antiguos lechos de humedales que pretenden ser manejados como sistemas terrestres. Ante los extremos climáticos e hidrológicos, como los ocurridos en Colombia durante 2010 y 2011, las respuestas para evitar hechos catastróficos incluyen la eliminación de atributos biofísicos como la eliminación de la interfaz tierra-agua en las orillas de los humedales con la construcción de diques para evitar inundaciones. Esto limita o elimina procesos naturales de entrada de agua al humedal y depuración, que son necesarios para mantener agua en cantidad y calidad óptimas durante los periodos de déficit hídrico (por extremos del clima).
- Muchos sistemas biofísicos están capturados por sistemas productivos únicos, y de beneficio para pocos actores. El manejo frente a la variabilidad climática e hidrológica prioriza los sistemas con mayores beneficios económicos. Se deja de lado el conjunto amplio de servicios ecosistémicos para todos los actores sociales relevantes en un territorio (Andrade et ál., 2012).
- La percepción de urgencia sobre el cambio climático influye en la planificación para enfrentarlo (Adger et ál., 2011). Los riesgos percibidos para la sociedad, como las inundaciones, perpetúan la aproximación estrecha de gestión, acentúan la transformación y minimizan la resiliencia de largo plazo de los sistemas sociales y ecológicos.
- El manejo para la flexibilidad ecosistémica implica asumir intereses contrapuestos que la sociedad no necesariamente está dispuesta a aceptar y enfrentar, pues esto tiene implicaciones, económicas, sociales, de ocupación y tenencia de la tierra.
- Cada vez es más difícil conservar la flexibilidad necesaria frente al cambio climático. Las intervenciones humanas y la ocupación y transformación del territorio limitan

esta posibilidad y con ello la opción de tener paisajes multifuncionales para el amplio conjunto de actores sociales. Las intervenciones del pasado restringen de manera importante las opciones presentes y futuras de los sistemas ecológicos y sociales frente al cambio climático.

Las respuestas de la sociedad frente al cambio climático no pueden tener efectos neutros, ni sobre los sistemas sociales ni sobre los ecológicos (Eriksen et ál., 2011) y es muy probable que las respuestas de la sociedad tengan consecuencias desestabilizadoras en ambos. Turner et ál. (2010) encontraron evidencia de que los impactos de las respuestas de adaptación de la sociedad frente al cambio climático, y los esfuerzos de mitigación de GEI, pueden tener impactos negativos que exceden los que se derivan del mismo fenómeno. Es fundamental limitar la transformación y pérdida de biodiversidad debido a las acciones de mitigación y adaptación humanas.

Este objetivo es crítico para mantener los servicios ecosistémicos de los cuales dependen los seres humanos (Turner et ál., 2010) y las funciones ecológicas que determinan la integridad ecológica. Esto se debe sustentar por investigaciones desde las ciencias sociales que en combinación con las ciencias biofísicas, permitan entender los enfoques de las respuestas humanas al fenómeno y su posible afectación sobre los sistemas naturales.

Necesidades de investigación

Satisfacer las necesidades humanas, y al mismo tiempo, mantener los sistemas de soporte del funcionamiento del planeta, y de los territorios particulares, es una meta de doble propósito frente al cambio climático. Lograrla depende, en parte, del conocimiento amplio de los vínculos e interacciones entre la biodiversidad y el fenómeno. Sin embargo, ligar el conocimiento con la acción para el logro de esta meta no parece tener todavía una ruta clara (Andrade y Wills, 2011). Avanzar hacia ello puede beneficiarse de la habilidad de los investigadores y manejadores para definir qué, y dónde, es lo que hay que investigar. Para ello es necesaria la comunicación continua durante verdaderos procesos de toma de decisiones. En la tabla 1 se plantean temas de investigación de acuerdo con los ejes desarrollados, sobre el vínculo de la biodiversidad con el cambio climático. Estos temas son una síntesis de investigaciones propuestas para el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Colombia, por las investigadoras Franco y Useche (2011).

El estudio del cambio climático, y sus efectos sobre los sistemas ecológicos y sociales, demanda la investigación interdisciplinaria (García, 2006). En la actualidad nos enfrentamos a un escenario de incertidumbre en la dinámica del planeta y el fenómeno climático es uno de los mayores determinantes de este panorama incierto. Los problemas ambientales —como el cambio climático— que tienen naturaleza compleja e integradora de muchos aspectos, requieren de métodos innovadores para conocer y entender la dinámica de los procesos que desencadenan y resultan en retos a la permanencia de la biodiversidad en la trayectoria de cambio resiliente.

Agradecimientos: El trabajo en el cual se basó este artículo se realizó gracias al apoyo de la Dirección General y el Programa Gestión de Información y Conocimiento del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Tabla 1
Temas de investigación sobre el vínculo de la biodiversidad y el cambio climático

LA DINÁMICA ECOLÓGICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

- Los patrones de biodiversidad, la relación con el clima y los procesos ecológicos y atributos funcionales indispensables para su mantenimiento en escenarios de cambio climático.
- La modelación y el monitoreo de cambios en los patrones de biodiversidad y procesos ecológicos por cambio climático.
- Los atributos de sensibilidad de las especies y ecosistemas (factores intrínsecos) y factores añadidos (factores extrínsecos) que influyen en la vulnerabilidad del fenómeno climático.
- Los sinergismos del cambio climático con otros motores de pérdida de biodiversidad.
- Los agroecosistemas y su papel en el mantenimiento de los patrones de la biodiversidad frente al cambio climático.
- Las especies introducidas, dinámica frente al cambio climático e influencia en la biodiversidad nativa.
- La transformación de los ecosistemas colombianos y su influencia en el cambio ambiental, global, regional y local.

LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

- Los servicios ecosistémicos críticos en la adaptación de la sociedad frente al cambio climático, los sistemas biofísicos que los generan y las funciones que los sustentan.
- La ecología funcional y los atributos de la biodiversidad relevantes como soporte de servicios ecosistémicos críticos frente al cambio climático.
- La valoración integral (cultural, económica, ecológica) de los servicios ecosistémicos relacionados con la capacidad de adaptación de la sociedad frente al cambio climático.
- Los marcos de referencia amplios y ajustados al contexto ecológico y social de los territorios colombianos, para evaluar la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos frente al fenómeno.
- El sistema de soporte de decisiones sobre la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos frente al cambio climático, con inclusión explícita de análisis de intereses contrapuestos (*trade-offs*).

LA BIODIVERSIDAD Y EL SISTEMA CLIMÁTICO

- La biodiversidad y su papel en el sistema climático y la regulación del clima.
- La vulnerabilidad de los ciclos biogeoquímicos con potencial para ser emitidos como gases con efecto invernadero por transformación y pérdida de biodiversidad.
- La mitigación de los gases con efecto invernadero basada en la integridad ecológica de los sistemas naturales.

LA BIODIVERSIDAD Y LAS RESPUESTAS DE LA SOCIEDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

- Las respuestas (enfoques, énfasis, actividades actuales y propuestas) de adaptación de la sociedad frente al cambio climático y los efectos (positivos o negativos) sobre la biodiversidad.
- La adaptación humana frente al cambio climático basada en la integridad ecológica de los sistemas naturales.
- Las políticas y las escalas y los ámbitos hacia las cuales están dirigidas, sobre adaptación de la sociedad y estrategias de conservación de la biodiversidad, y los desajustes entre las dos.
- Los elementos en la escala del paisaje, del ámbito social, político, administrativo y biológico, relevantes para mantener y mejorar la resiliencia de los sistemas ecológicos y sociales frente al cambio antrópico del clima.
- La capacidad adaptativa frente al cambio climático en el ámbito (amplio) de paisaje.

Fuente: elaboración propia

Referencias

- Adger, W. N., Brown, K., Nelson, D., Berkes, F., Eakin, H., Folke, C., Galvin, K., Goulden, M., Gunderson, L., O'Brien, K., Ruitenbeek, J., y Tompkins, E. (2011). Resilience implications of policy responses to climate change. *WIREs Climate Change*, 2, 757-766 doi: 10.1002/wcc.133.
- Amundson, R. (2000). The carbon budget in soils. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, (29), 535-562.
- Andrade, G. I., Franco, L., y Delgado, J. (2012). Socio-ecological barriers to adaptive management of Lake Fúquene, Colombia. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics* 7(3) 251-260.
- Andrade, A., Córdoba, Dave, R., Giro, P., Herrera-F., B., Munroe, R., Oglethorpe, J., Pramova, E., Watson, J., y Vergara, W. (2011). Draft principles and guidelines for integrating ecosystem-based approaches to adaptation in project and policy design: [A Discussion Document]. CEM/IUCN, CATIE. Kenya.
- Austin, A. T., Howarth, R. W. Baron, J.S. Chapin III, F. S. Christensen, T.R. Holland, E. A., Ivanov, M. V. Lein, A. Y. Martinelli, L. A., Melillo, J. M y Shang, C. (2003). Human disruption of element interactions: Drivers, consequences, and trends for the twenty-first century. En J. M. Melillo, C. B. Field, y B. Moldan (Eds.), *Interactions of the major biogeochemical cycles: global change and human impacts Scope* 61 (pp. 15-45). Covelo, CA: Island Press.
- Berkes, F., y Seixas, C. (2005). Building resilience in lagoon social-ecological systems: a local-level perspective. *Ecosystems* (8), 967-974.
- Berrío, J. C., Behling, H., y Hooghiemstra, H. (2000). Tropical rain forest history from the Colombian Pacific area: A 4200-yr pollen record from Laguna Jotaordó. *The Holocene* (10), 749-756.
- Brauman, K., Daily, G. C., Duarte, T. K., y Mooney, H. A. (2007). The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, (32), 67-98.
- Brönnimann, S., Ewen, T., Luterbacher, J., Diaz, H. F., Stolarski, R. S., y Neu, U. (2008). A focus on climate during the past 100 years. *Arctic*, 1-2.
- Bubb, P., May, I., Miles, L., y Sayer, J. (2004). *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK. Online at: http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/20.htm
- Casanoves, F., Pla, L., y Di Rienzo, J. (Eds.). (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. *Serie técnica, Informe técnico No. 384*. CATIE. San José, Costa Rica.
- Cavelier, J., y Goldstein, G. (1989). Mist and fog interception in elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology*, (5), 309-322.
- Cavelier, J., Aide, T. M., Santos, C., Eusse, A. M., y Dupuy, J. M. (1998). The savannization of moist forests in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Biogeography*, (25), 901-912.
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W. D., Dudley, N., Smith, J., & Gudka, M. (2012). *Conserving Dryland Biodiversity*. xii.
- De Groot, R., Alkemade, R., Hein, L., y Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272.
- De Groot, R., Wilson, M., y Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics* (41), 393-408.

- Doney S., Schimel, D. (2007). Carbon and climate system coupling on timescales from the Precambrian to the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources* (32), 31-66.
- Eriksen S., Aldunce, P., Bahinipati, S., Bahinipati, C., Martins, R., Molefe, J., Nhemachena, C., O'Brien, K., Olorunfemi, F., y Park, J. (2011). When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. *ClimDev* (3), 7-20.
- Foden, W., Mace, G., Vie, J. C., Angulo, A., Butchard, S., De Vantier, L., Dublin, H., Gutsche, A., Stuart, S., y Turak, E. (2008). Species susceptibility to climate change impacts. In J.C. Vie, C. Hilton-Taylor & S. Stuart (eds.). *The 2008 Review of the IUCN red List of Threatened Species*. IUCN Gland, Switzerland.
- Forero-Medina, G., Joppa, L., y Pimm, S. L. (2011). Constraints to species' elevational range shifts as climate changes. *Conservationbiology*, 25(1) 163-71.
- Franco, L., y Andrade, G. (2005). Biodiversidad y cambio ecosistémico en la laguna de Fúquene. En *Informe Nacional sobre el Estado de Conocimiento de la Biodiversidad (INACIB)*. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
- Franco, L., y Useche, D. (2011). Agenda de investigación sobre el vínculo de la biodiversidad y el cambio antrópico del clima. Entendiendo las conexiones para orientar la gestión hacia la trayectoria de cambio resiliente. [Manuscrito no publicado]. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 40 p.
- Franco, L., Delgado, J., y Andrade, G. [en prensa]. Factores de la vulnerabilidad de los humedales altoandinos de Colombia ante el cambio climático global. [En prensa]. Revista *Cuadernos de Geografía*, Universidad Nacional de Colombia.
- Friedldingstein, P. (2004). Climate-Carbon cycle interactions. En Field C., y M. Raupach. (Eds.). *The global carbon cycle: Integrating humans, climate, and the natural world* (pp. 217-224) SCOPE 62. Washington: Island Press. 526p.
- Galvis, G., Mojica, J., y Rodríguez, F. (1989). Estudio ecológico de una laguna de desborde del río Metica, Orinoquía colombiana. Fondo FEN Colombia y Universidad Nacional de Colombia.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Gruber, N., Friedldingstein, P., Field, C., Valentini, R., Heiman, M., Richey, J., Romero, P., Detlef, E., y Arthur, C. (2004). The vulnerability of the Global Carbon Cycle in the 21 st century: An assessment of carbon climate human interactions. En C. Field y M. Raupach. (Eds.). *The global carbon cycle: integrating humans, climate, and the natural world* (45-76) *Scope* 62. Washington: Island Press.
- Hannah L., Lovejoy, T., y Schneider, S. (2005). Biodiversity and climate change in context. En T. E. Lovejoy, T. E. y Hannah, L. (Eds.). *Climate change and biodiversity* (3-14). New Haven & London: Yale University Press.
- Harrington, R., Anton, C., Dawson, T. P., Bello, F., Feld, C. K., Haslett, J. R., y Kluvánková-Oravská, T. (2010). Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2773-2790.
- Hewitt, G., y Nichols, R. (2005). Genetic and evolutionary impacts of climate change. En T. E. Lovejoy, T. E., y Hannah, L. (Eds.). *Climate Change and Biodiversity* (176-192). New Haven & London: Yale University Press.
- Hoffmann, A., y Sgrò, C. M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470(7335), 479-85.
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J., Lodge, D.M., Loreau, M.,

- Naeem, S., Schmid, B., Setälä, A.J., Symstad, Vandermeer, J., y Wardle, D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. [A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change] [C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, y P.M. Midgley (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H. L. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- IPCC, International Panel on Climate Change (2011). *Agreed reference material for the IPCC fifth assessment report*. Recuperado el 31 de octubre de 2012, de <http://www.ipcc.ch/pdf/ar5/ar5-outline-compilation.pdf>
- Kappelle, M., Van Vuuren, M., y Baas, P. (1999). Effects of climate change on biodiversity: A review and identification of key research issues. *Biodiversity and Conservation*, (8), 1383-1397.
- Lal, R., Follet, R., Stewart, B., y Kimble, J. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Sciences*, 172(12), 943-956.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Laurance, W.F., y Williamson, G.B. (2001). Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. *Conservation Biology*, 6(15), 1529-1535.
- Le Quéré, C., y Metzl, N. (2004). Natural Processes Regulating the Ocean Uptake of CO₂. En C. Field & M. Raupach (Eds.). *The global carbon cycle: Integrating humans, climate, and the natural world (243-257)*. *Scope 62*. Washington: Island Press.
- Le Quesne, T., Matthews, J., von der Heyden, C., Wickel, A., Wilby, R., Hartmann, J., Pegram, G., Kistin, E., Blate, G., Kimura de Freitas, G., Levine, E., Guthrie, C., McSweeney, C., y Sindorf, N. (2010). Flowing forward: Freshwater ecosystem adaptation to climate change in water resources management and biodiversity conservation. *World Wildlife Fund*.
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012). *Política Nacional de Gestión Integral para la Conservación de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) Colombia*.
- Marchant, R., Berrio, J. C., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Helmens, K., Hooghiemstra, H., y Kuhry, P. (2001). A reconstruction of Colombian biomes derived from modern pollen data along an altitude gradient. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 117(1-3), 79-92.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends (1)*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Murgueitio, E. (2002, Noviembre). *Impacto ambiental de la ganadería de leche y alternativas de solución*. [Trabajo presentando en el Seminario Internacional de Colanta]: Competitividad en Carne y Leche, Medellín, Colombia.
- Nelson, D. R., Adger, W. N., y Brown, K. (2007). Adaptation to environmental change: Contributions of a resilience framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 395-419.

- Noss, R. (2001). Beyond Kyoto: Forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology*, 15(3), 578-590.
- Pabón, J. D. (2009). Tendencias en el desarrollo conceptual de la climatología, sus avances en el siglo XX y su contribución al progreso de la Geografía. En J. W. Montoya (Ed.). *Lecturas en teoría de la geografía* (pp. 319-336). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Humanas.
- Potschin, M. B., y Haines-Young, R. H. (2011). Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography*, 35(5), 575-594.
- Poveda G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 28(107) 201-222.
- Ramsar (2002). Resolución VIII.39 *Los humedales altoandinos como ecosistemas estratégicos*. Recuperado el 29 de noviembre de 2012 de http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-resol-resolution-viii-39-high/main/ramsar/1-31-107%5E21288_4000_2__
- Raynaud, D., Lorius, C., Capellaz, J., y Barnola, J.M. (2006). Gaz a effet de serre et evolution du climat. Le message des carottes de glace. En E. Bard (Ed.) *L'Homme face au climat* (pp. 35-48), College de France. Paris: Odile Jacob.
- Reed-Andersen, T., Carpenter, S., y Athrop, R. (2000). Phosphorus flow in a watershed-lake ecosystem. *Ecosystems*, 3(6), 561-573.
- Reid, H., y Swiderska, K. (2008). *Biodiversity, climate change and poverty: Exploring the links*. International Institute for Environment and Development, (IIED).
- Sabine, C. L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D. C. E., Chen ChenTung [Chen, C. T. A.], Field, C. B., Gruber, N., Le Prinn, R. G., Richey, J. E., Lankao, P. R., Sathaye, J. A., & Valentini, R. (2004). Current status and past trends of the global carbon cycle. En C. Field, & M. Raupach (Eds.). *The global carbon cycle: Integrating humans, climate, and the natural world* (17-44). SCOPE 62. Washington: Island Press.
- Saunders, D., Hobbs, R., y Margules, C. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Biological Conservation*, 59(1), 77.
- Schröter D. (2009). Our vulnerability to changes in ecosystem services. En: A. Patt, D. Schroter, R. Klein y A. De La Vega (Eds.). *Assessing vulnerability to global environmental change. Making research useful for adaptation decision making and policy* (97-114) London-Sterling, VA: Earthscan 258 p.
- Shukla, J., Nobre, C., y Sellers, P. (1990). Amazonian deforestation and climate change. *Science*, (247), 1322-1325.
- Stafford, D.M., Abel, N., Walker, B., y Chapin III, S. (2009). Drylands: Coping with uncertainty, thresholds, and change in state. En S. Chapin III, G. Kofinas y C. Folke (Eds.). *Principles of ecosystem stewardship. Resilience-based natural resource management in a changing world* (171-196). New York: Springer Science Business 401 p.
- Steffen, W., Burbidge, A., Hughes, L., Kitching, R., Lindenmayer, D., Musgrave, W., Staford Smith, M., y Werner, P. (2009). *Australia's biodiversity and climate change: A strategic assessment of vulnerability of Australia's biodiversity to climate change*. [A report to the Natural resource Management Ministerial Council commissioned by Australian Government.] CSIRO Publishing.
- Strhaler, A., y Strhaler, A. (2005). *Geografía Física* (3ª. Ed.), Barcelona: Ediciones Omega S. A..
- Thrush, S., y Dayton, P. (2010). What can ecology contribute to ecosystem-based management? *Annu. Rev. Mar. Sci.*, (2) 419-441.
- Tobón, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Serie investigación y sistematización No. 4. Programa Regional Ecobona-Intercooperation, Condesan. Quito, Ecuador.

- Turner W., Bradley, B., Estes, L., Hole, D., Oppenheimer, M., & Wilcove, D. (2010). Climate change: Helping nature survive the human response. *Conservation Letters* (2) 419-441.
- Turner, B. L., Kasperson, R., Matson, P., McCarthy, J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N. et al. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), 8074-8079.
- UNCCD, United Nations Convention to Combat Desertification. *Glossary*. (2012). Recuperado de <http://www.unccd.int/en/resources/Library/Pages/Glossary.aspx> el 17 de noviembre de 2012.
- Useche, D.C. (2010). Biodiversidad: cimiento de nuestra capacidad para enfrentar el cambio climático. En M. P. García, O.D. Amaya (Eds). *Derecho y cambio climático* (pp. 93-122). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Valderrama, M., Jiménez-Segura, L., López-Casa, S., Rivas, T.S., Rincón, C.E., Nieto-Torrés, S., González-Cañón, G., Galvis-Galindo, I., Hernández, S., y Salas, F. (2010). *Prochilodusmagdalenae*, Prochilodontidae. En C. Lasso, E. Agudelo Córdoba, L. F. Jiménez-Segura, H. Ramírez-Gil, M. Morales-Betancourt, R.E. Ajiaco-Martínez, F. de Paula Gutiérrez, J. S. Usma, S.E. Muñoz Torres y A.I. Sanabria Ochoa (Eds). I. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia* (305-311). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, DC. Colombia.
- Van der Hammen, T. (1957). Estratigrafía palinológica de la sabana de Bogotá. *Boletín Geológico*, (5) 187-203. Ingeominas, Bogotá.
- Walker B., y Salt, D. (2006). *Resilience thinking. Sustaining ecosystems and people in a changing world*. Washington D.C.: Island Press. 174p.
- Walker, B., y Salt, D. (2012). *Resilience practice: Building capacity to absorb disturbance and maintain function*. Washington D.C.: Island Press. 226 p.
- Weslawski, J. M., Snelgrove, P.V.R., Levin, L. A., Austen, M. C., Kneib, R.T., Iliffe, T.M., Garey, J. R., Hawkins, S. J., y Whitlatch, R. B. (2004). Marine sedimentary biota as providers of ecosystem goods and services. En D.H. Wall (Ed.) *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments Scope* (73-98). Washington: Island Press.