

EN

Methodological proposal to manage ecosystem resilience of natural protected areas in Colombia

ES

Propuesta metodológica para gestionar la resiliencia ecosistémica de áreas naturales protegidas en Colombia

Edward Pascuas Rengifo¹; Mary Brigén Basto Monsalve¹; Juan Camilo Fontalvo Buelvas^{2*}

¹Universidad Surcolombiana, avenida Pastrana Borrero, Carrera 1, Neiva, Huila. Colombia.

²Universidad Veracruzana, Irapuato, 139, colonia Progreso. Xalapa, Veracruz. México.

Abstract

Ecosystem resilience is a property of natural protected areas (NPAs) which is currently of great interest, given its relationship with disturbance regimes and the context of climate change. However, there are no contextualized guidelines to estimate and comprehensively manage its attributes in rural areas. Therefore, the objective of this study was to propose a methodology for managing ecosystem resilience of Colombia's NPAs to cope with climate change. This theoretical and exploratory research is based on a systematic review of bibliographic information and the authors' experience in territorial management processes. The results show a conceptual basis of the subject with key background and the methodological proposal integrated by five phases and 18 consecutive steps. It includes five major cross-cutting aspects: legal foundations, systemic vision, participatory and inclusive approach, as well as institutional, sectoral and community synergies. This methodological approach is expected to provide a frame of reference to guide the sustainability of natural systems and the well-being of associated rural communities.

Keywords: Adaptation, climate change, conservation, ecosystems, disturbance.

Resumen

La resiliencia ecosistémica es una propiedad de las áreas naturales protegidas (ANP) que causa gran interés en la actualidad, dada sus relaciones con los regímenes de perturbación y el contexto del cambio climático. Sin embargo, no se cuenta con lineamientos contextualizados que permitan estimar y gestionar integralmente sus atributos dentro del ámbito rural. Por tanto, el objetivo de este estudio fue proponer una metodología para la gestión de la resiliencia ecosistémica de las ANP de Colombia a fin de hacer frente al cambio climático. Esta investigación teórica y exploratoria se fundamenta en una revisión sistemática de información bibliográfica y la experiencia de los autores en procesos de gestión territorial. Los resultados muestran una base conceptual de la temática con antecedentes clave y la propuesta metodológica integrada por cinco fases y 18 pasos consecutivos. La cual contempla cinco grandes ejes transversales: fundamentos legales, visión sistémica, enfoque

*Corresponding author:
fontalvo.buelvas@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-9818-0489

Received: February 2, 2022 /
Accepted: April 22, 2022

DOI:
10.5154/r.rchs.2022.03.06

participativo e inclusivo, así como sinergias institucionales, sectoriales y comunitarias. Con esta aproximación metodológica se espera aportar un marco de referencia que oriente la sostenibilidad de los sistemas naturales y el bienestar de las comunidades rurales asociadas.

Palabras clave: Adaptación, cambio climático, conservación, ecosistemas, perturbación.

Introduction

Historically, the interaction between natural and social systems has shaped the dynamics of biodiversity of species and ecosystems on the planet (Cárdenas, 2002). Particularly, the unsustainable use of natural resources has caused the deterioration of habitats at different latitudes, leading to the mass extinction of species and putting the survival of many others at risk. In this sense, the expansion of conventional agricultural systems has seriously contributed to the accelerated fragmentation of ecosystems (Eastmond and García, 2006). This has gradually reduced the resilience of Natural Protected Areas (NPAs), causing imbalances that alter ecological communities and environmental services they provide to human populations (Vidal and Andrade, 2014).

Ecological resilience is understood as the ability and capacity of ecosystems to face, mitigate and resist disturbances at different spatiotemporal scales (Holling, 2001). Whether these disturbances are natural or due to human influence, so that they maintain their equilibrium or stable condition, while preserving their capacity to adapt to environmental stress factors or global change events (Lloret, 2012). In relation to this, several authors point out that resilience has limits, especially when ecological tolerance is exceeded, generating irreversible effects on the performance of ecosystems, reaching the point of no return (Begon, et al., 1999; Cuevas, 2010). For Seekell (2016), the point of no return has serious consequences for biodiversity, affecting the flow of ecosystem services, an aspect that is impossible to reverse. Coates and Burton (1997) state that studies of ecosystem dynamics have contributed to understanding the role of small-scale disturbances. However, they have been little used to manage the resilience of ecosystems in the face of phenomena such as climate change (Hughes, 2000; Locatelli e Imbach, 2010).

In Colombia, the Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) made an analysis in 2010 of the biophysical and socioeconomic characteristics to determine the country's vulnerability to the adverse effects of climate. It showed a possible reduction of the Amazon rainforests, to give way to areas

Introducción

Históricamente, la interacción entre los sistemas naturales y sociales ha moldeado la dinámica de la biodiversidad de especies y ecosistemas en el planeta (Cárdenas, 2002). Particularmente, el uso insostenible de los recursos naturales ha causado el deterioro de hábitats en distintas latitudes, llevando a la extinción masiva de especies y colocando en riesgo la supervivencia de muchas otras. En este sentido, la expansión de los sistemas agropecuarios convencionales ha contribuido gravemente en la fragmentación acelerada de los ecosistemas (Eastmond y García, 2006). Lo anterior, ha reducido paulatinamente la propiedad de resiliencia de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), provocando desequilibrios que alteran las comunidades ecológicas y los servicios ambientales que estas proveen a las poblaciones humanas (Vidal y Andrade, 2014).

Sea entendida la resiliencia ecológica, como la habilidad y capacidad que tienen los ecosistemas para afrontar, amortiguar y resistir perturbaciones a distintas escalas espaciotemporales (Holling, 2001). Sean estas de tipo natural o por influencia humana, de modo que mantienen su equilibrio o condición estable, conservando al mismo tiempo su capacidad de adaptación ante factores de estrés ambiental o eventos de cambio global (Lloret, 2012). En relación con esto, diversos autores señalan que la resiliencia tiene límites, sobre todo, cuando se sobrepasa la tolerancia ecológica, generando efectos irreversibles en el funcionamiento de los ecosistemas, llegando al punto de no retorno (Begon, et al., 1999; Cuevas, 2010). Para Seekell (2016), el punto de no retorno tiene graves consecuencias para la biodiversidad, el cual afecta el flujo de servicios ecosistémicos, aspecto que es imposible revertir. Por su parte, Coates y Burton (1997) plantean que los estudios de las dinámicas de los ecosistemas han contribuido a entender el papel de las perturbaciones a pequeña escala. Sin embargo, han sido poco utilizados para gestionar la resiliencia de los ecosistemas frente a fenómenos como el cambio climático (Hughes, 2000; Locatelli e Imbach, 2010).

En el caso de Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) presentó

with semi-humid climates, predicting that by the end of the XXI century the natural forests located in the Amazon region would receive the greatest alteration (IDEAM, 2010). This coincides with the IPCC (2008), which states that changes in precipitation in South America over the next 100 years point to a substantial decrease (20% or more) in rainfall in the Amazon basin. This reveals the substitution of some forests by ecosystems that are more resistant to the reduction of rainfall, and the increase of droughts and fires.

Furthermore, in 2015, the IDEAM delivered the results of the third national communication on climate change, indicating a possible increase of 2.1 °C in the average annual temperature for Colombia by the end of 2100 (IDEAM, 2015). In particular, this institute indicated that by the end of the 21st century the temperature in almost the entire department of Caquetá could increase by 2.2 °C. In addition, there could be isolated increases in precipitation over the Amazon piedmont of up to 20 % more than the current value. These projections are related to deforestation, because it is one of the activities with the greatest impact on the increase of greenhouse gas (GHG) emissions. In particular, the growth trend of deforestation in Colombia has been increasing in recent decades, with agricultural activities being one of the main factors contributing to these degradation processes (de Moraes, et al., 2017).

Under these scenarios, it is expected that the NPAs and agroecosystems located in the Amazon region will lose their resilience to different environmental changes. This could generate ecological imbalances, causing changes in phenological behavior, biogeographic distribution and the composition of ecological communities (Yáñez, et al., 2011). These events would also put agricultural activities at risk, due to crop vulnerability, increased pests and diseases, high temperatures, droughts, soil erosion and lack of water (Acevedo-Osorio, et al., 2017). In addition to the above, inadequate management practices also aggravate the problem and endanger food security in the region.

In Colombia, NPA management processes have focused on management, restoration strategies and management of tourism activities (Oliveros and Beltrán, 2018; Torres, et al., 2003; Zambrano, et al., 2007). However, ecological resilience management has not been integrally considered during the monitoring and follow-up processes of NPAs. Therefore, there are no technical instruments available to comprehensively estimate the ecosystem resilience of NPAs, not only as isolated natural spaces, but also as part of broader landscapes that include other land uses (Jiménez-Méndez, 2009; SINAP, 2019). The above, limits the opportunities to manage successful climate change mitigation and

en el 2010 el análisis de las características biofísicas y socioeconómicas para determinar la vulnerabilidad del país frente a los efectos adversos del clima. Señalando una posible reducción de los bosques húmedos de la amazonia, para dar paso a zonas con climas semihúmedos, pronosticando que para finales del XXI los bosques naturales ubicados en la región amazónica recibirían la mayor alteración (IDEAM, 2010). Esto coincide con el IPCC (2008), al referirse que los cambios evidenciados en la precipitación de América del Sur durante los próximos 100 años apuntan a una disminución sustancial (20 % o más) de las lluvias en la cuenca Amazónica. Lo anterior, revela la sustitución de algunas selvas por ecosistemas más resistentes a la reducción de las lluvias, y el aumento de las sequías e incendios.

De igual forma, el IDEAM entregó en el 2015 los resultados de la tercera comunicación nacional de cambio climático, indicando un posible incremento de 2.1 °C de la temperatura media anual para Colombia hacia finales del 2100 (IDEAM, 2015). Específicamente, este instituto señaló que para finales del siglo XXI la temperatura en casi todo el departamento del Caquetá podría aumentar en 2.2 °C. Asimismo, se podrían presentar aumentos aislados en las precipitaciones sobre el piedemonte amazónico hasta en un 20 % adicional al valor actual. Dichas proyecciones se relacionan con la deforestación, debido a que es una de las actividades que más ha influido en el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Particularmente, la tendencia de crecimiento de la deforestación en Colombia ha venido en aumento en las últimas décadas, siendo las actividades agropecuarias uno de los principales factores que contribuye en estos procesos de degradación (de Moraes, et al., 2017).

Frente a estos escenarios, es probable que las ANP y los agroecosistemas situados en la región amazónica pierdan su capacidad de resiliencia frente a diversos cambios ambientales. Esto podría generar desequilibrios ecológicos, ocasionando cambios en el comportamiento fenológico, la distribución biogeográfica y la composición de las comunidades ecológicas (Yáñez, et al., 2011). De igual manera, estos fenómenos colocarían en riesgo las actividades agropecuarias, debido a la vulnerabilidad de los cultivos, el aumento de las plagas y enfermedades, las altas temperaturas, las sequías, la erosión del suelo y la falta de agua (Acevedo-Osorio, et al., 2017). Aunado a lo anterior, las prácticas inadecuadas de manejo también exacerban la problemática y ponen en riesgo la seguridad alimentaria de la región.

En Colombia, los procesos de gestión de las ANP se han enfocado en el manejo, en las estrategias de res-

adaptation actions in NPAs from a territorial vision (Barborak, et al., 2015; Lorente et al., 2004). Therefore, the objective of this study is to propose methodological guidelines that facilitate the process of ecosystem resilience management in NPAs, to guide actions in favor of sustainable land management in the context of climate change.

Materials and methods

This is a theoretical literature review research that, based on the interpretative theoretical framework of ecosystem resilience, aims to propose management guidelines for its future application in NPAs (Cairampoma, 2015). This is a theoretical literature review research that, based on the interpretative theoretical framework of ecosystem resilience, aims to propose management guidelines for its future application in NPAs (Cairampoma, 2015). According to the depth of the object of study, this research is exploratory; therefore, this methodological approach is based on the collection of information, identification of key background and description of fundamental processes to be examined in depth in future research (Stebbins, 2001).

Thus, for the development of the methodology, a specialized review of the scientific literature was carried out following the guidelines of Manchado-Garabito et al., (2009). Who suggest the following for this systematic process: delimiting the topic and variables of the study, identifying the sources of information, establishing the search strategy, selecting and classifying the studies found, extracting the relevant information, analyzing the information and presenting the ordered results. In this case, the central theme is ecosystem resilience, and the associated variables are *management*, related to measurement instruments with indicators; *PNA*, oriented exclusively to areas destined for conservation; and *climate change*, considering adverse scenarios due to temperature and precipitation variations, as well as the need to propose mitigation and adaptation measures. Finally, it is necessary to mention that the information obtained was complemented with the expertise of the authors of this study; especially, taking as a reference territorial management experiences in Colombia. In which we have identified certain participatory methodologies and technical procedures that work with this type of processes. It should be noted that subjectivity in scientific discourse is not only a by-product of the dialogue between authors, but also fulfills essential communicative functions that enrich scientific praxis (Wong-García, 2021).

tauración y en la gestión de las actividades turísticas (Oliveros y Beltrán, 2018; Torres, et al., 2003; Zambrano, et al., 2007). No obstante, la gestión de la resiliencia ecológica no ha sido considerada integralmente durante los procesos de monitoreo y seguimiento de las ANP. Por lo tanto, no se cuenta con instrumentos técnicos que permitan estimar de forma integral la resiliencia ecosistémica de las ANP, no solo como espacios naturales aislados, sino como parte de paisajes más amplios que incluyen otros usos de suelo (Jiménez-Méndez, 2009; SINAP, 2019). Lo anterior, limita las oportunidades de gestionar acciones acertadas de mitigación y adaptación al cambio climático en las ANP desde una visión territorial (Barborak, et al., 2015; Lorente et al., 2004). Por ello, el objetivo de este estudio es proponer lineamientos metodológicos que faciliten el proceso de gestión de la resiliencia ecosistémica de ANP, esto para encaminar acciones en favor de una gestión sostenible del territorio en el contexto del cambio climático.

Materiales y métodos

Esta es una investigación teórica de revisión de literatura que a partir del marco teórico interpretativo de la resiliencia ecosistémica busca proponer lineamientos de gestión para su futura aplicación en las ANP (Cairampoma, 2015). Según la profundidad del objeto de estudio, esta investigación es de tipo exploratorio; por tanto, esta aproximación metodológica se fundamenta en la recopilación de información, la identificación de antecedentes clave y la descripción de procesos fundamentales que habrán de examinarse a profundidad en futuras investigaciones (Stebbins, 2001).

De esta manera, para la construcción de la metodología, se realizó una revisión especializada de literatura científica siguiendo las directrices de Manchado-Garabito et al., (2009). Quienes para este proceso sistemático sugieren: delimitar el tema y las variables del estudio, identificar las fuentes de información, establecer la estrategia de búsqueda, seleccionar y clasificar los estudios encontrados, extraer la información relevante, analizar la información y presentar los resultados ordenados. En este caso, el tema central es la resiliencia ecosistémica y las variables asociadas son: *gestión*, relacionada con instrumentos de medición con indicadores; *ANP*, orientada exclusivamente para áreas destinadas a la conservación; y *cambio climático*, considerando los escenarios adversos por las variaciones de temperatura y precipitación, así como la necesidad de plantear medidas de mitigación y adaptación. Finalmente, es necesario mencionar que

Results and Discussion

Theoretical framework of ecosystem resilience in NPAs

In the area of ecology, resilience is an inherent property of ecosystems, which allows them to absorb disturbances without changing drastically to a state in which they could lose their functions and services (Holling, 1973). In this sense, these characteristics includes two complementary processes; resilience, associated with the magnitude of the disturbance that causes a change in the structure, and recovery, linked to the speed of return to the original structure (Ingrisch and Bahn, 2018). In recent years, ecosystem resilience has become an essential aspect to be considered for integrated NPA management processes (Folke et al., 2004). Several current strategies for protection, management and restoration of ecosystems are based on the knowledge of resilience to face climate change (Malhi et al., 2020). This means, on the one hand, in-depth knowledge of the structure that is formed from ecological communities; especially, of the flora and fauna that is adapted to the local hydro-climatological conditions; on the other hand, this also includes the recognition of the socio-productive structures that put pressure on ecosystems (Schmitz et al., 2018). In this sense, the resilience of NPAs is strengthened when disturbance drivers are removed and key species within the ecosystem structure are conserved, to achieve the sustainability of the socio-ecological system (Brand, 2009).

In this scenario, ecological deterioration is shown as a progressive process in ecosystems, whether due to anthropogenic or natural factors, to such a degree that it can affect the functional diversity that flows in the landscape matrix (Martín-López et al., 2007; Thompson, 2011). Stability of terrestrial ecosystems depends largely on the adaptive capacity and level of resilience that landscapes reach, which includes the dynamics between NPAs, transformed agroecosystems and social systems (Naveh and Lieberman, 2013). an ecological system maintains its functionality when certain ecological attributes such as composition, structural and functional characteristics of the ecosystem occur within their natural ranges of variation, managing to resist and recover from natural or anthropogenic disturbances (Holling and Gunderson, 2002). Therefore, the functionality of a conservation area can best be judged by how well the composition and structure of ecosystems and focal species are within their natural ranges of variability (Poiani, et al., 2000). Thus, the management of vegetation attributes can determine much of ecological resilience, but not all of it, because

la información obtenida se complementó con la experiencia de los autores de este estudio; particularmente, teniendo como referencia experiencias de gestión territorial en Colombia. En los que hemos identificado ciertas metodologías participativas y procedimientos técnicos que funcionan con este tipo de procesos. Dicho esto, cabe señalar que la subjetividad en el discurso científico no es únicamente un subproducto del diálogo entre los autores, sino que cumple funciones comunicativas esenciales que enriquecen la praxis científica (Wong-García, 2021).

Resultados y discusión

Base conceptual de la resiliencia ecosistémica en las ANP

En el ámbito de la ecología, la resiliencia es una propiedad inherente a los ecosistemas, la cual les permite absorber perturbaciones sin cambiar drásticamente a un estado en el que podrían perder sus funciones y servicios (Holling, 1973). En este sentido, dicha característica incluye dos procesos complementarios; la resistencia, asociada a la magnitud de la perturbación que provoca un cambio en la estructura, y la recuperación, vinculada a la velocidad de retorno a la estructura original (Ingrisch y Bahn, 2018). En los últimos años, la resiliencia ecosistémica se ha transformado en un aspecto esencial a considerarse para los procesos de gestión integral de las ANP (Folke et al., 2004). Particularmente, diversas estrategias actuales de protección, manejo y restauración de ecosistemas se fundamentan en el conocimiento de la resiliencia para hacer frente al cambio climático (Malhi et al., 2020). Esto implica, por una parte, el conocimiento profundo de la estructura que se forma a partir de las comunidades ecológicas; especialmente, de la flora y fauna que está adaptada a las condiciones hidroclimatológicas locales; por otra parte, esto incluye también el reconocimiento de las estructuras socio-productivas que ejercen presión sobre los ecosistemas (Schmitz et al., 2018). En este sentido, la resiliencia de las ANP se fortalece cuando se eliminan los impulsores de perturbación y se conservan las especies clave dentro de la estructura ecosistémica, para alcanzar la sostenibilidad del sistema socioecológico (Brand, 2009).

En este escenario, el deterioro ecológico se presenta como un proceso progresivo en los ecosistemas, ya sea por factores antrópicos o naturales, a tal grado que puede afectar la diversidad funcional que fluye en la matriz de los paisajes (Martín-López et al., 2007; Thompson, 2011). Lograr la estabilidad de los ecosistemas terrestres depende en gran medida de la capacidad de adaptación y el nivel de resiliencia

it is a property conditioned by multiple socioecological factors (Rincón-Ruiz et al., 2014).

In this order of ideas, conservation areas inserted in a landscape matrix can be approached from multiple spatial and temporal scales, especially when visualizing their possible responses to natural and anthropogenic disturbances (Vélez and Sal, 2008). Therefore, it is possible to distinguish four geographical scales where species and ecosystems interact: local, intermediate, coarse and regional. According to Poiani et al. (2000), the local scale is an established area of meters to thousands of hectares, which includes local-scale species and small patch ecosystems. The former is restricted to a particular habitat, are immobile or disperse little, and include many invertebrate and plant species; the latter tend to be relatively discrete, geomorphologically defined, and spatially fixed. The intermediate scale can be in the range of hundreds to tens of thousands of hectares, which includes large patch ecosystems and intermediate-level species. Large patch ecosystems are variable in structure and composition, with distinctly different internal habitat types and serial stages that change and reorganize over time and space. At the coarse geographic scale, this is an area comprising tens of thousands to millions of hectares. Thus, it is possible to find matrix ecosystems that encompass successional mosaics, large spatial extensions, and amorphous boundaries, of which large and small patch ecosystems are part. In these cases, species are habitat specialists, moving between ecosystems and using them at multiple scales. At the regional geographic scale, species use resources across millions of hectares, including natural to semi-natural matrix ecosystems with large and small patch habitats (Poiani et al., 2000).

Therefore, to estimate the ecological resilience of a NPAs, it is essential to conceive the analysis from a multiscale perspective and incorporate different ecological attributes that may be present in the landscapes (Cushman and McGarigal, 2019). Especially because the different components of landscapes and their attributes maintain dynamics that make the functional ecosystem possible (Salgado-Negret, 2016). Therefore, approaching these processes is a very effective way to predict the response of species to environmental changes, their impact on the structuring of biological communities and the recovery of ecosystem processes (Violle et al., 2007; Hodgson, et al., 2015).

Methodological proposal for managing ecosystem resilience in NPAs

Figure 1 shows a synthesis of the methodology for ecosystem resilience management in NPAs in Colombia.

que alcancen los paisajes, eso incluye la dinámica entre las ANP, los agroecosistemas transformados y los sistemas sociales (Naveh y Lieberman, 2013). En este sentido, un sistema ecológico mantiene su funcionalidad, cuando ciertos atributos ecológicos como la composición, las características estructurales y funcionales del ecosistema ocurren dentro de sus rangos naturales de variación, consiguiendo resistir y recuperarse a los disturbios naturales o antrópicos (Holling y Gunderson, 2002). Por tanto, la funcionalidad de un área de conservación se puede juzgar mejor por el grado en que la composición y estructura de los ecosistemas y de las especies focales se encuentran dentro de sus rangos naturales de variabilidad (Poiani, et al., 2000). De esta manera, la gestión de los atributos de la vegetación puede determinar gran parte de la resiliencia ecológica, pero no su totalidad, ya que es una propiedad condicionada por múltiples factores socioecológicos (Rincón-Ruiz et al., 2014).

En este orden de ideas, las áreas de conservación insertadas en una matriz de paisaje pueden ser abordadas a partir de múltiples escalas espaciales y temporales; particularmente, a la hora de visualizar sus posibles respuestas a los disturbios naturales y antrópicos (Vélez y Sal, 2008). Por tanto, es posible distinguir cuatro escalas geográficas donde interaccionan especies y ecosistemas: local, intermedia, gruesa y regional. Según Poiani et al. (2000), la escala local es un área establecida de metros a miles de hectáreas, que incluye especies a escala local y ecosistemas de parche pequeño. Las primeras están restringidas a un hábitat particular, son inmóviles o se dispersan poco, e incluyen muchas especies de invertebrados y plantas; los segundos tienden a ser relativamente discretos, geomorfológicamente definidos y espacialmente fijos. La escala intermedia puede estar en un rango de cientos a decenas de miles de hectáreas, que incluye ecosistemas de parches grandes y especies de nivel intermedio. Los ecosistemas de parches extensos son variables en estructura y composición, con tipos de hábitats internos claramente diferentes y etapas seriales que cambian y se reorganizan con el tiempo y el espacio. En cuanto a la escala geográfica gruesa, se trata de un área integrada por decenas de miles a millones de hectáreas. De esta manera, es posible encontrar ecosistemas matriciales que abarcan mosaicos sucesionales, grandes extensiones espaciales y límites amorfos, del cual hacen parte los ecosistemas de parches grandes y pequeños. En estos casos, las especies son generalistas del hábitat, se mueven entre ecosistemas y los utilizan a escalas múltiples. En la escala geográfica regional, las especies usan recursos en millones de hectáreas, incluidos los ecosistemas de matriz natural a seminatural con hábitats de parches grandes y pequeños (Poiani et al., 2000).



Figure 1. Phases and steps that integrate the methodological proposal for managing ecosystem resilience in natural protected areas.

Figura 1. Fases y pasos que integran la propuesta metodológica para gestionar la resiliencia ecosistémica en áreas naturales protegidas.

Source: Adapted from Poiani et al. (2000); Parrish et al. (2003); Herrera and Corrales (2004) and Vargas (2007).
 Fuente: Adaptada a partir de Poiani et al. (2000); Parrish et al. (2003); Herrera y Corrales (2004) y Vargas (2007).

This proposal was elaborated taking as a reference the confluence of different fundamentals proposed by Poiani et al. (2000), Parrish, et al. (2003), Herrera and Corrales (2004) and Vargas (2007). The methodology integrates five phases (18 steps) and five major cross-cutting aspects: legal foundations, systemic vision, participatory and inclusive approach, as well as institutional, sectoral and community synergies.

Phase 1. As with any management process or socio-environmental intervention project, it should start with a comprehensive diagnosis and characterization of the site or PNA to be managed. These processes are carried out using participatory forums, surveys, interviews and documentary research; taking into account the biophysical, ecological, social, economic, cultural, political, administrative and technical aspects that have an impact (inside and outside) on the ecosystem resilience of the NPA. In this sense, it is important to conceive that NPAs are not uniform components, but represent different aspects (identity, raw material, tourism, etc.) for modern societies and are susceptible to be managed by different territorial actors.

Therefore, it is possible to visualize natural areas with prohibited access due to their enormous importance and fragility, as well as traditionally inhabited natural areas shaped by the dynamics of their communities. In addition, depending on the type of land tenure, ownership and management of some natural areas are exercised by governments, private individuals, private companies, agrarian communities or ethnic groups (Elbers, 2011). Thus, each site will show different conservation targets, which are determined by the type of relationship and history that the communities have maintained with the natural resources they have had at their disposal. This will provide the guidelines for establishing the management units and categories for the site of interest and adjacent areas; for this process it is essential to comply with current legislation from the local to the international level (Amaya-Navas, 2018).

Phase 2. Subsequently, it is important to select the ecological attributes for the prioritized conservation targets in NPAs, with their respective indicators and ranges of variation (Müller et al., 2016). These processes should be carried out using matrices, diagrams and other graphic elements that allow for interrelationships and easy understanding, even the use of specialized

Por lo anterior, para estimar la resiliencia ecológica de una ANP es indispensable concebir el análisis desde una perspectiva multiescalar e incorporar distintos atributos ecológicos que puedan estar presentes en los paisajes (Cushman y McGarigal, 2019). Especialmente porque los distintos componentes de los paisajes y sus atributos mantienen dinámicas que hacen posible el ecosistema funcional (Salgado-Negret, 2016). Por tanto, aproximarse a estos procesos es una vía muy efectiva para predecir la respuesta de las especies a los cambios ambientales, su impacto en la estructuración de las comunidades biológicas y la recuperación de los procesos ecosistémicos (Violle et al., 2007; Hodgson, et al., 2015).

Propuesta metodológica para gestionar la resiliencia ecosistémica en las ANP

En la Figura 1 se presenta una síntesis de la metodología para la gestión de la resiliencia ecosistémica de las ANP en Colombia. De manera general, esta propuesta se elaboró tomando como referencia la confluencia de distintos fundamentos planteados por Poiani et al. (2000) Parrish, et al. (2003), Herrera y Corrales (2004) y Vargas (2007). La metodología integra cinco fases (18 pasos) y cinco grandes ejes transversales: fundamentos legales, visión sistémica, enfoque participativo e inclusivo, así como sinergias institucionales, sectoriales y comunitarias.

Fase 1. Como todo proceso de gestión o proyecto de intervención socioambiental, debe partir de un diagnóstico y caracterización integral del sitio o ANP que se pretende gestionar. Particularmente, estos procesos se llevan a cabo mediante foros participativos, encuestas, entrevistas e investigación documental; teniendo en cuenta los aspectos biofísicos, ecológicos, sociales, económicos, culturales, políticos, administrativos y técnicos que tienen injerencia (dentro y fuera) en la resiliencia ecosistémica del ANP. En este sentido, es importante concebir que las ANP no son componentes uniformes, sino que representan diferentes aspectos (identidad, materia prima, turismo, etc.) para las sociedades modernas son susceptibles de ser administradas por distintos actores territoriales.

En este sentido, es posible visualizar áreas naturales de acceso prohibido debido a su enorme importancia y fragilidad, así como áreas naturales tradicionalmente habitadas moldeadas por la dinámica de sus comunidades. Además, según el tipo de tenencia de la tierra, la propiedad y la gestión de algunas áreas naturales son

software could be very useful. At this stage it is essential that participants consider three primary factors: changes in the disturbance regime (imposed stress), ecosystem functions (vital processes and services), and ecosystem resilience (capacity of the ecosystem to respond to change). Thus, multiple attributes at different scales of organization provide resilience, from species to communities in NPAs and beyond across the landscape. At this point, it is crucial to understand how these attributes interact to recognize how ecosystem functions change, with disturbances varying in intensity, spatial extent, and frequency. Thus, the attributes of individual species influence resilience, while landscape-scale properties influence the recovery of communities and their functions, so that the sum of these characteristics confers ecosystem resilience (Gladstone-Gallagher, et al., 2019).

Phase 3. At this point, the ecological attributes and ecosystem resilience of the site of interest must be estimated collectively with the participation of most of the stakeholders involved or with influence in NPAs. Therefore, it is essential to contextualize the communities about the process being developed, as well as to raise awareness about the relevance of its implementation and the importance of collective participation. From the beginning, it is essential to hold forums and workshops with participatory methodologies in which all people have the same opportunity to express their perceptions (Beaumont, 1997). However, from this phase on, it is necessary to promote this type of process more frequently to encourage co-responsibility to achieve effective planning, management and conservation of the NPA. This is because when working collectively, it is possible to identify true adaptive management strategies that contribute to strengthening ecosystem resilience against climate change (Ruiz and Arellano, 2014).

Phase 4. The results obtained from the determination of the NPA's ecosystem resilience indicators should be analyzed based on Rosnay's (1975) systemic approach, a tool for interpreting reality, and Morin's (2007) complexity paradigm, a referential framework for understanding socio-environmental dynamics. For this reason, the suggestion is to develop it by means of a SWOT analysis with interdisciplinary teams of experts that mainly include biologists, ecologists, anthropologists, sociologists, social work-

ejercidas por los gobiernos, particulares, empresas privadas, comunidades agrarias o grupos étnicos (Elbers, 2011). De esta manera, cada sitio presentará distintos objetos de conservación, los cuales están dados por el tipo de relación e historia que las comunidades han mantenido con los recursos naturales que han tenido a disposición. Lo anterior, dará las pautas para situar las unidades y categorías de manejo del sitio de interés y las áreas contiguas; para este proceso es ineludible atender la legislación vigente desde el nivel local hasta el internacional (Amaya-Navas, 2018).

Fase 2. Posteriormente, es importante seleccionar los atributos ecológicos para los objetos de conservación priorizados en la ANP, con sus respectivos indicadores y rangos de variación (Müller et al., 2016). Estos procesos deben llevarse a cabo mediante matrices, diagramas y otros elementos gráficos que permitan las interrelaciones y su fácil comprensión, incluso la utilización de software especializados podría ser de mucha utilidad. En esta etapa es fundamental que los participantes tengan en cuenta tres factores primordiales: los cambios en el régimen de perturbación (estrés impuesto), las funciones del ecosistema (procesos vitales y servicios) y la resiliencia ecosistémica (la capacidad del ecosistema para responder al cambio). Por tanto, múltiples atributos en distintas escalas de organización ofrecen resiliencia, desde especies hasta comunidades en el ANP y más allá en el paisaje. En este punto, es crucial comprender la manera en que interactúan estos atributos para reconocer cómo cambian las funciones del ecosistema, con perturbaciones que varían en intensidad, extensión espacial y frecuencia. De esta manera, los atributos de las especies individuales influyen en la resistencia, mientras que las propiedades a escala de paisaje influyen en la recuperación de las comunidades y sus funciones, así, la suma de estas características confiere la resiliencia ecosistémica (Gladstone-Gallagher, et al., 2019).

Fase 3. En este momento, se deben estimar los atributos ecológicos y la resiliencia ecosistémica en el sitio de interés; lo anterior, de forma colectiva contando con la participación de la mayoría de los actores involucrados o con injerencia en el ANP. Por tanto, es indispensable contextualizar a las comunidades sobre el proceso que se está desarrollando, así como sensibilizar sobre la pertinencia de su

ers, economists, political scientists and lawyers; in addition, it is a priority that representative actors of the territory also participate in this process. It is also recommended that the logical framework methodology be used to determine the appropriate strategies for use, conservation and adaptive management that will favor the resilience of the NPA and the landscape.

It is therefore important to consider the ecological attributes and disturbing elements to find intermediate points that enable the resilience of agroecosystems and the sustainable use of natural resources. Thus, conservation and restoration strategies should be combined with tools such as integrated watershed management (Shrubsole, 2004) and nature-based solutions (Albert, et al., 2017). In addition, for productive and economic activities, the gradual adoption of management types such as agroforestry (Huang et al., 2002), agrosilvopastoral (Russo, 1996), agroecological (Altieri, et al., 2015), permacultural (Velázquez and Sánchez, 2021) and ecotourism (Hornoiu, 2015) systems should be promoted. Among other alternatives, as long as they maintain the quality of soil, water and biodiversity, primary components that sustain ecosystem resilience. At this point, it should be noted that these changes in the forms of production and operation can generate strong tensions with the communities and their conventional way of managing the land; therefore, models or nearby experiences that are models should be provided, as well as a series of incentives to facilitate change.

Phase 5. Finally, a feedback process on the current state of the NPA's ecosystem resilience should be carried out, again with an interdisciplinary team and with the participation of community members. This is intended to carefully make the necessary adjustments to collectively build a solid management and administration proposal. Once all the details have been covered, the process of disseminating (using multiple channels) the results of the current state of the NPA's ecosystem resilience should begin. At last, considering the implications of mass dissemination, recommendations for strengthening the effective management and governance of the NPA are described. The ecological functioning of the landscape, socio-cultural practicality, technical-legal feasibility, financial feasibility and profitability of productive activities are all taken into account. At this point, it

implementación y la relevancia de la participación colectiva. Desde el inicio es esencial la realización de foros y talleres con metodologías participativas en las que todas las personas tengan la misma posibilidad de expresar sus percepciones (Beaumont, 1997). Sin embargo, a partir de esta fase es necesario promover con mayor frecuencia este tipo de procesos a fin de incentivar la corresponsabilidad para alcanzar la efectiva planeación, gestión y conservación del ANP. Esto debido a que cuando se trabaja de forma colectiva se pueden identificar verdaderas estrategias de manejo adaptativo que contribuyan al fortalecimiento de la resiliencia ecosistémica frente al cambio climático (Ruiz y Arellano, 2014).

Fase 4. Se deben analizar de los resultados obtenidos a partir de la determinación por indicadores de la resiliencia ecosistémica del ANP, esto desde el enfoque sistémico de Rosnay (1975), una herramienta de interpretación de la realidad; y el paradigma de la complejidad de Morin (2007), un marco referencial para comprender las dinámicas socioambientales. Por tal motivo, la sugerencia es desarrollarlo mediante un análisis FODA con equipos interdisciplinarios de expertos que incluyan principalmente a biólogos, ecólogos, antropólogos, sociólogos, trabajadores sociales, economistas, politólogos y abogados; además, en este proceso es prioritario que participen también actores representativos del territorio. Asimismo, se recomienda usar la metodología de marco lógico para determinar de forma acertada las estrategias de uso, conservación y manejo adaptativo que favorezcan la capacidad de resiliencia del ANP y del paisaje.

Para esto, es importante retomar los atributos ecológicos y los elementos perturbadores con la intención de buscar puntos intermedios que posibiliten la resiliencia de los agroecosistemas y el uso sustentable de los recursos naturales. De esta manera, las estrategias de conservación y restauración deben combinarse con herramientas como el manejo integrado de cuencas (Shrubsole, 2004) y soluciones basadas en la naturaleza (Albert, et al., 2017). Además, para las actividades productivas y económicas, debe promoverse la adopción paulatina de tipos de manejo como los sistemas agroforestales (Huang et al., 2002), agrosilvopastoriles (Russo, 1996), agroecológicos (Altieri, et al., 2015), permaculturales (Velázquez y Sánchez, 2021) y

is appropriate to include these processes within the territorial ecological planning, a planning instrument protected by law to regulate land use and productive activities, to achieve environmental protection, the sustainable use of natural resources and the local development of rural communities.

In short, it is important to consider that, although this methodology integrates the development of several steps to manage ecosystem resilience of Colombia's NPA, it is important to keep in mind that the prioritization of the steps depends greatly on the information that exists on the selected NPA. It is also possible that, at the time of applying the methodology, only those steps containing information that is applicable to the selected NPA can be chosen. This means that the present methodology can be applied at three levels of detail: preliminary, semi-detailed and detailed. The level of detail chosen will depend not only on the information available for the protected area, but also on the information to be obtained and the depth of analysis that the study is expected to achieve. Nevertheless, the users of the methodology can make adjustments, adaptations or improvements to this proposal.

Conclusions

This study provides a methodological tool for the management of ecosystem resilience of NPAs, which seeks to facilitate their adaptation to natural or anthropogenic disturbance processes. The selection of ecological attributes are key elements within the methodology, since they allow establishing the conditions in which the conservation targets present in the NPAs are found. It is important to determine appropriate indicators to measure ecological attributes to have an approximate and effective assessment of the ecosystem resilience of the conservation targets evaluated.

This methodological proposal represents a basic reference for decision makers and public policy makers; in addition, its characteristics permit it to be applied in the NPAs of Colombia or other countries, taking into account the ecological, legal and sociocultural aspects of each site. It is hoped that the application of these guidelines can support decision-making for the development of adaptive management that strengthens the resilience of ecologically important areas. Therefore, the establishment of governmental, sectoral and community synergies is very significant before, during and after these processes, because the planning, management and adaptive management of NPAs should be guided by co-responsibility. Not only

ecoturísticos (Hornoiu, 2015). Entre otras alternativas, siempre y cuando mantengan la calidad del suelo, el agua y la biodiversidad, componentes primordiales que sostienen la resiliencia ecosistémica. En este punto, es preciso señalar que estos virajes en las formas de producción y operación pueden generar tensiones fuertes con las comunidades y su forma convencional de gestionar la tierra; por ello, se deben proveer modelos o experiencias cercanas que sean ejemplares, así como alguna serie de incentivos para facilitar el cambio.

Fase 5. Finalmente, se debe llevar a cabo un proceso de retroalimentación del estado actual de la resiliencia ecosistémica del ANP, nuevamente con un equipo interdisciplinario y con la participación de miembros de la comunidad. Lo anterior, con la intención de realizar minuciosamente los ajustes necesarios a fin de construir colectivamente una propuesta de gestión y manejo sólida. Una vez que se han cubierto todos los detalles, se debe comenzar el proceso de divulgación (mediante múltiples canales) de resultados del estado actual de la resiliencia ecosistémica del ANP. Por último, teniendo en cuenta las repercusiones de la difusión masiva, se describen recomendaciones para el fortalecimiento de la gestión y el manejo efectivo del ANP. Teniendo en cuenta el funcionamiento ecológico del paisaje, la practicidad sociocultural, la viabilidad técnico-legal, la factibilidad financiera y la rentabilidad de las actividades productivas. En este punto, resulta conveniente incorporar estos procesos dentro del ordenamiento ecológico territorial, instrumento de planeación amparado en la ley para regular el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el desarrollo local de las comunidades rurales.

En definitiva, es importante considerar que, aunque esta metodología integra el desarrollo de varios pasos para gestionar la resiliencia ecosistémica de las ANP de Colombia, se debe tener en cuenta que la priorización de los pasos depende mucho de la información que exista sobre el ANP seleccionada. De igual forma, es posible que, al momento de la aplicación de la metodología se puedan elegir solo aquellos pasos que contengan información y, que sea aplicable al ANP seleccionada. Esto significa que la aplicación de la presente metodología puede desarrollarse bajo tres niveles de detalle: preliminar, semidetallado y

with the intention of prioritizing the conservation of natural resources, but also their sustainable use and wellbeing of rural communities.

End of English version

References / Referencias

- Acevedo-Osorio, Á., Leiton, A. A., Durán, M. V. L., y Quiroga, K. L. F. (2017). Sustentabilidad y variabilidad climática: acciones agroecológicas participativas de adaptación y resiliencia socioecológica en la región alto-andina colombiana. *Revista Luna Azul*, (44), 6-26. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321750362002.pdf>
- Albert, C., Spangenberg, J. H., y Schröter, B. (2017). Nature-based solutions: criteria. *Nature*, 543(7645), 315-315. <https://doi.org/10.1038/543315b>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., y Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 869-890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Amaya-Navas, Ó. D. (2018). Áreas protegidas en Colombia, definición, propiedad y bases constitucionales para su protección. En: Irujo, A. E., y Pachón, M. D. P. G. (Eds.). *La conservación de la naturaleza su régimen jurídico en Colombia y España*. Universidad Externado de Colombia, pp. 25-59.
- Barborak, J., Cuesta, F., Montes, C., y Palomo, I. (2015). *Planificación en áreas protegidas: Territorio y cambio climático*. Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ).
- Beaumont, J. (1997). Community participation in the establishment and management of marine protected areas: a review of selected international experience. *African Journal of Marine Science*, 18, 333-340.
- Begon, M., Harper, J. L., y Townsend, C. R. (1999). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Omega.
- Brand, F. (2009). Critical natural capital revisited: Ecological resilience and sustainable development. *Ecological economics*, 68(3), 605-612. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.013>
- Cairampoma, M. R. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *Redvet. Revista electrónica de veterinaria*, 16(1), 1-14. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63638739004>
- Cárdenas, J. C. (2002). Sistemas naturales y sistemas sociales: hacia la construcción de lo público, lo colectivo, lo ambiental. Universidad Javeriana.
- Coates, K. D., y Burton, P. J. (1997). A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management*, 99, 337-354. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00113-8)

detallado. El nivel de detalle elegido dependerá no solo de la información disponible del área protegida, sino también de la indagación que se establezca de la misma y de la profundidad de análisis que se espera alcanzar con el estudio. No obstante, los usuarios de la metodología pueden hacer ajustes, adaptaciones o mejoramientos a esta propuesta.

Conclusiones

Este estudio aporta un instrumento metodológico para la gestión de la resiliencia ecosistémica de las ANP, el cual busca facilitar la adaptación de estas ante procesos de perturbación natural o antrópica. La selección de los atributos ecológicos son elementos clave dentro de la metodología, ya que permiten establecer las condiciones en las que se encuentran los objetos de conservación presentes en las ANP. En este sentido, es relevante determinar indicadores que resulten apropiados para medir los atributos ecológicos, a fin de obtener una valoración aproximada y efectiva de la resiliencia ecosistémica de los objetos de conservación evaluados.

Esta propuesta metodológica representa un referente base para los tomadores de decisiones y los creadores de políticas públicas; además, sus características permiten que pueda ser aplicada en las ANP de Colombia u otros países, atendiendo los aspectos ecológicos, legales y socioculturales de cada sitio. Con ello se espera que la aplicación de estos lineamientos pueda apoyar la toma de decisiones para el desarrollo de una gestión adaptativa que fortalezca la resiliencia de áreas de importancia ecológica. Por tanto, el establecimiento de sinergias gubernamentales, sectoriales y comunitarias es muy significativo antes, durante y después de estos procesos, ya que desde la corresponsabilidad se debe guiar la planeación, gestión y manejo adaptativo de las ANP. No solo con la intención de priorizar la conservación de los recursos naturales, sino también su uso sustentable y el bienestar de las comunidades rurales.

Fin de la versión en español

- Cuevas, R. P. (2010). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 12(1), 1-7. <https://bit.ly/37vDRGp>
- Cushman, S. A., y McGarigal, K. (2019). Metrics and models for quantifying ecological resilience at landscape scales. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 1-21. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00440>
- Eastmond, A., y García, F. A. (2006). Impacto de los sistemas agropecuarios sobre la biodiversidad. *Ganadería*, 75(1), 98-104. <https://bit.ly/3jjzS26>
- Elbers, J. (2011). *Las áreas protegidas de América Latina. Situación actual y perspectivas para el futuro*. UICN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.
- de Moraes, M. C. P., de Mello, K., y Toppa, R. H. (2017). Protected areas and agricultural expansion: Biodiversity conservation versus economic growth in the Southeast of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 188, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.075>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., y Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Gladstone-Gallagher, R. V., Pilditch, C. A., Stephenson, F., y Thrush, S. F. (2019). Linking traits across ecological scales determines functional resilience. *Trends in ecology & evolution*, 34(12), 1080-1091. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31422892/>
- Herrera, B., y Corrales, L. (2004). Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: *Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas*. PROARCA/APM, Guatemala de la Asunción.
- Hodgson, D., McDonald, J. L., y Hosken, D. J. (2015). *What do you mean, 'resilient'?*. *Trends in ecology & evolution*, 30(9), 503-506. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.010>
- Holling, C. S. (1973). Resiliencia y estabilidad de los sistemas ecológicos. *Annu Rev Ecol, Evol Syst*, 4, 1-24. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5), 390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- Holling, C. S., y Gunderson, L. H. (2002). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press.
- Hornoiu, R. I. (2015). Ecotourism-climate change adaptation tool within the sustainable management of protected areas. *Calitatea*, 16(146), 89. <https://bit.ly/3DPxMjY>
- Huang, W., Luukkanen, O., Johanson, S., Kaarakka, V., Räisänen, S., y Vihemäki, H. (2002). Agroforestry for biodiversity conservation of nature reserves: functional group identification and analysis. *Agroforestry systems*, 55(1), 65-72. <https://doi.org/10.1023/A:1020284225155>
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution*, 15(2), 56-61. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(99\)01764-4](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(99)01764-4)
- Ingrisch, J., y Bahn, M. (2018). Towards a comparable quantification of resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(4), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.013>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2010). La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia. Disponible en: <https://bit.ly/3povlJd>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, (2015). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para la toma de decisiones. Disponible en: <https://bit.ly/3ruwWoX>
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2008). Exploración de nuevos escenarios para el análisis de las emisiones, del cambio climático, de sus impactos y de las estrategias de respuesta. Disponible en: <https://bit.ly/3xya4Wj>
- Jiménez-Méndez, M. (2009). Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático. Escuela de Posgrados del Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Lloret, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 85-90. <https://bit.ly/3DQR8oU>
- Locatelli, B., y Imbach, P. (2010). *Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica*. Serie Técnica. Manual Técnico.
- Lorente, I., Gamo, D., Gómez, J. L., Santos, R., Flores, L., Camacho, A., Galindo, L., y Navarro, J. (2004). Los efectos biológicos del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 13(1), 103-110. <https://bit.ly/3xcKXdq>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., y Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190104. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Manchado-Garabito, R., Tamames-Gómez, S., López-González, M., Mohedano-Macías, L., y Veiga-de Cabo, J. (2009). Revisiones sistemáticas exploratorias. *Medicina y seguridad del trabajo*, 55(216), 12-19. <https://bit.ly/3JdHZaZ>
- Martín-López, B., González, J. A., Díaz, S., Castro, I., y García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar

- humano: el papel de la diversidad funcional. *Revista Ecosistemas*, 16(3), 69-80. <https://bit.ly/3r9LCJ8>
- Morin, E. (2007). Introducción al pensamiento complejo. Editorial Gedisa.
- Müller, F., Bergmann, M., Dannowski, R., Dippner, J. W., Gnauck, A., Haase, P., y Theuerkauf, M. (2016). Assessing resilience in long-term ecological data sets. *Ecological indicators*, 65, 10-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.066>
- Naveh, Z., y Lieberman, A. S. (2013). *Landscape ecology: theory and application*. Springer Science & Business Media.
- Oliveros, O. C. A., y Beltrán, V. J. E. (2018). Evaluación de la sustentabilidad de los prestadores de servicios turísticos del Parque Nacional Natural Tayrona en el departamento de Magdalena, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(1), 100-117. <https://bit.ly/3r8ZyTq>
- Parrish, J. D., Braun, D. P., y Unnasch, R. S. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 53(9), 851-860. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0851:AWCWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0851:AWCWS]2.0.CO;2)
- Poiani, K. A., Richter B. D., Anderson, M. G., y Richter, H. E. (2000). Biodiversity Conservation at Multiple Scales: Functional Sites, Landscapes, and Networks. *BioScience*, 50(2), 133-146. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0133:BCAMSF\]2.3.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0133:BCAMSF]2.3.CO;2)
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P., y Zuluaga, P. A. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Rosnay, J. (1975). Le macroscopie. Vers une vision globale. SEUIL.
- Ruiz, L. E., y Arellano, J. L. (2014). Identificación comunitaria de riesgos climáticos, medios de vida y estrategias de adaptación en la cuenca del río Huhuetán, en Chiapas. En: Soares, D., Millán, G., & Gutiérrez, I. (coords.). *Reflexiones y Expresiones de La Vulnerabilidad Social en el Sureste de México*, IIMTA, pp. 79-121.
- Russo, R. O. (1996). Agrosilvopastoral systems: A practical approach toward sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7(4), 5-16. http://dx.doi.org/10.1300/J064v07n04_03
- Salgado-Negret, B. (Ed.). (2016). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Seekell, D. (2016). Passing the point of no return. *Science*, 354(6316), 1109-1109. <https://doi.org/10.1126/science.aal2188>
- Shrubsole, D. (2004). Reflections on recent developments in watershed management in Ontario and their implications for natural areas management (1). *Environments*, 32(1), 1-15. <https://bit.ly/37rm9ns>
- SINAP (2019). Marco conceptual Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP): Visión 2020-2030. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://bit.ly/3E8AksP>
- Schmitz, M. F., Arnaiz-Schmitz, C., Herrero-Jauregui, C., Diaz, P., Matos, D. G., y Pineda, F. D. (2018). People and nature in the Fuerteventura Biosphere Reserve (Canary Islands): Socio-ecological relationships under climate change. *Environmental Conservation*, 45(1), 20-29. <https://doi.org/10.1017/S0376892917000169>
- Stebbins, R. A. (2001). *Exploratory research in the social sciences*. Sage Editorial.
- Thompson, I. (2011). Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal. *Unasylva - Revista internacional de silvicultura e industrias forestales* (Italia). 62(238), 25-30. <https://bit.ly/3jeZVHE>
- Torres, M. A. C., Ospina, M. L. Z., y Páez, H. S. (2003). Caracterización de los distritos de manejo integrado de los recursos naturales renovables, formulación y ensayo de una metodología para la evaluación de la efectividad en el manejo. *Colombia forestal*, 8(16), 77-94. <http://hdl.handle.net/11349/17747>
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia.
- Velázquez-Cigarroa, E., y Sánchez-Carrasco, M. J. (Coord.) (2021). *Sociedad, permacultura y agricultura sustentable. Hacia una educación y cultura ambiental*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Vélez, L. V., y Sal, A. G. (2008). Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *Arbor*, 184(729), 31-44. <https://doi.org/10.3989/arbor.2008.i729.159>
- Vidal, L. F., y Andrade, G. I. (2014). *Buscando Respuestas en un entorno cambiante: Capacidad adaptativa para la resiliencia socio-ecológica de los sistemas nacionales de áreas naturales protegidas*. Cooperación Alemana al Desarrollo.
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Wong-García, E. (2021). Funciones de la subjetividad en la praxis científica: Evidencias desde el análisis semántico del discurso. HAL Science Ouverte (Pre-print). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03318631/document>
- Yáñez, P., Núñez, M., Carrera, F., y Martínez, C. (2011). Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la zona andina de Ecuador. *Revista de Ciencias de la Vida*, 14(2), 24-44. <https://doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.03>

Zambrano, H., Pardo, M., y Naranjo, L. G. (2007). *Evaluación de integridad ecológica, propuesta metodológica. Herramienta para el análisis de efectividad en el largo plazo en el área del Sistema de Parques Nacionales*

Naturales de Colombia. WWF Colombia, Parques Nacionales Naturales de Colombia y el Instituto Alexander von Humboldt.