

201

ANÁLISIS DE RESILIENCIA: RESPUESTA DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS DEL PIEDEMONTES DE LA ORINOQUIA

Ficha metodológica

La construcción conceptual y metodológica desarrollada para la evaluación de la resiliencia, en el marco del convenio FIBRAS, comprende un trabajo científico interdisciplinar que parte de la identificación de las relaciones existentes en el sistema socioecológico y las propiedades que le atribuyen la capacidad de resiliencia; seguido de la construcción de un modelo matemático alojado en un simulador, que permite identificar las tendencias en el comportamiento de las variables asociadas a las propiedades y el cálculo de un índice que, a través del tiempo, revela el comportamiento de la resiliencia en el área de estudio, permitiendo comparar diferentes escenarios del manejo del territorio.

Identificación de relaciones entre los elementos del sistema socioecológico

Para identificar las relaciones entre los elementos del sistema socioecológico que lo caracterizan, se proponen seis categorías que interactúan entre sí. Se parte de la fuente del impacto, que se refiere al proceso o actividad que genera el cambio en el sistema socioecológico;

su implementación deriva en un cambio específico esperado sobre el componente social o ecológico del sistema que corresponde al impacto, esto puede corresponder a un cambio en un atributo, proceso o dinámica del sistema. Posteriormente, se identifican las posibles consecuencias del cambio en las contribuciones de la naturaleza, entendido esto como los efectos sobre los servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales, es decir, sobre los “regalos de la naturaleza”, desde una visión de las personas (Díaz et al., 2018).

Además, se identifican las propiedades del sistema que amortigua el impacto o consecuencias del impacto, referidas a las propiedades del sistema (Biggs et al., 2015; González-Quintero & Avila-Foucat, 2019); las acciones de manejo que corresponden a alguna de las categorías de decisión ambiental (prevenir, compensar, preservar, minimizar, rehabilitar, restaurar, reparar, rectificar, mejorar, ampliar, desarrollar y diversificar) (MADS, 2002); y las prácticas asociadas a posibles procesos de gobernanza que posibilitan la acción colectiva (uso, cuidado, extracción, comercialización, etc.). Estos dos últimos elementos pueden actuar sobre el

impacto, la consecuencia, contribuciones de la naturaleza o la propiedad identificada.

Priorización de relaciones y variables a incorporar en el modelo matemático

Para la construcción del modelo matemático se propone un proceso de seis etapas. Las primeras tres apuntan a la priorización de los elementos en cada una de las categorías y a la caracterización del sistema usando la información disponible. Las últimas tres etapas describen el ejercicio de modelamiento.

En la primera etapa se construyó una matriz que relaciona los diferentes tipos de elementos que caracterizan el sistema socioecológico; por ejemplo, las fuentes de impacto generan impacto y los impactos traen consecuencias sobre las contribuciones de la naturaleza. Luego, en la segunda etapa, se generó una salida de las matrices como grafo usando el programa Gephi (Bastian et al., 2009). El número de conexiones de entrada y salida en cada elemento se priorizaron las variables. Como ejemplo aplicado a las fuentes de impacto se tiene que entre mayor es el número de conexiones de salida, más impactos diferentes son causados por la misma fuente, o entre mayor es el número de conexiones de entrada, más fuentes generan este impacto. Estas métricas revelan información sobre la estructura de la red de relaciones y ayudan a identificar aquellas variables que resultan más importantes para la estructura de las relaciones.

Causalidad del sistema socioecológico

Con el objetivo de ayudar a comprender y analizar la complejidad del sistema, se utilizó la dinámica de sistemas para identificar las relaciones de causa y efecto entre las variables partiendo del diagrama relacional entre las variables priorizadas. En esta etapa se logró describir las dinámicas socioecológicas que giran alrededor de las propiedades del sistema con la revisión de expertos y actores locales. Para facilitar el entendimiento de la red de relaciones, los diagramas causales resultantes fueron abordados a partir de módulos que involucran las variables que dan cuenta de la resiliencia del sistema.

Modelo matemático

Posteriormente, estos diagramas causales (no-matemáticos) fueron traducidos a diagramas de “niveles y flujos” que describen las relaciones causales en ecuaciones que describen la dinámica de las variables priorizadas. Los “niveles” son las variables de estado que representan las variables a través de las cuales se visualiza y comprende todo el sistema, es decir, aquellas cuya evolución temporal es significativa en el sistema de interés, ya que en ellas aparecen sus acumulaciones (de información o material). A cada variable de nivel se le pueden asociar flujos de entrada y de salida. Los “flujos” son razones de cambio del sistema, es decir, aquellas que producen la acumulación o desacumulación en las variables de estado, dependiendo si es de entrada o de salida.

El modelo obtenido presenta una estructura con ocho módulos: 1) coberturas, que simula la transformación entre los diferentes tipos de coberturas de la Tierra; 2) agua, que evalúa la disponibilidad y calidad del agua desde el balance hídrico a nivel regional; 3) variables abióticas, que calcula un índice de presión sonora y un índice de calidad de aire; 4) disponibilidad de hábitat, que evalúa la presencia o no de especies dependiendo de la disponibilidad de hábitat asociada a las coberturas naturales; 5) diversidad y redundancia, que evalúa la presencia o no de funciones ecológicas de acuerdo a la disponibilidad de hábitat de las especies; 6) diversidad de actividades productivas, que evalúa que el sistema cuente con diferentes opciones en su productividad que generen ocupación y salud por medio de la diversidad en el sistema alimentario; 7) tejido social, que evalúa el fortalecimiento del tejido social (y lo relaciona con la colaboración entre diversos actores y diferentes formas de conocimiento (Osejo et al., 2019) que cooperan y coordinan sus intereses y acciones en torno a un interés común (Osejo et al., 2020). Esto corresponde a un enfoque integrado (Chaffin et al., 2014; Ros-Tonen et al., 2014), que requiere que las acciones colectivas en las que se toman decisiones propendan por la conservación al momento de la producción y el desarrollo social; y 8) salud, que evalúa la salud de forma concreta desde dos aspectos fundamentales: la calidad de las condiciones ambientales (Twery & Gottschalk, 1996) y la capacidad de obtener alimento.

Finalmente, se evalúa la posibilidad de volver sobre las relaciones priorizadas anteriormente y ajustar el modelo

teniendo en cuenta la disponibilidad de información para estimar los parámetros.

Índice de resiliencia

Las series de tiempo simuladas para las variables representadas en los “niveles” se agruparon en las diferentes propiedades y principios de resiliencia. Cada variable fue normalizada para que los resultados pudieran compararse en un rango de 0 a 1, donde 1 indica que la variable se encuentra en el valor máximo posible y tiene un efecto positivo en la tendencia de la resiliencia (por ejemplo, un aumento en la conectividad de las coberturas naturales) y 0 para un efecto negativo en la resiliencia. De manera jerárquica se calculan promedios ponderados de las variables normalizadas para cada instante de tiempo. Esta serie de tiempo de los promedios ponderados se lee como el comportamiento de la resiliencia en el tiempo. Finalmente, el índice de resiliencia corresponde a la pendiente de la recta que mejor se ajusta a la serie de tiempo de los promedios ponderados. Si es positiva, la tendencia a mediano plazo es a mejorar la capacidad de respuesta del sistema. Si es negativa, se interpreta como una disminución en la capacidad de resiliencia.

Simulación de escenarios

Cada simulación se puede imaginar como una caja en la cual el usuario carga la información de entrada que contienen todos los datos necesarios para alimentar el modelo. Luego de correr el modelo, el simulador arroja las series de tiempo de las variables que permiten calcular el índice para evaluar la resiliencia.

Si se desea simular el efecto que tienen algunas intervenciones en el territorio, se deben ajustar los archivos de entrada y

correr la simulación. El resultado que se genera son series de tiempo que describen el comportamiento de las variables asociadas a la resiliencia del sistema dadas esas condiciones de entrada. Los datos de entrada deben ser entendidos como los datos que describen unas condiciones particulares bajo las cuales se encuentra el sistema socioecológico y bajo las cuales se va a evaluar la resiliencia. Los datos de entrada representan un escenario particular y pueden ser modificados, de manera que diferentes escenarios posibles se pueden simular de manera independiente para luego contrastar sus resultados.

Para la interpretación de los resultados obtenidos se presentan, como ejemplo, cuatro escenarios en un mismo territorio y su interpretación para el indicador de resiliencia:

Escenario 1 (BAU o “Business as usual”). Las dinámicas del sistema socioecológico siguen las tendencias actuales de intervención. Este primer escenario contempla que las condiciones y características encontradas para el periodo 2015-2020 se mantienen constantes. Lo ideal es que los datos de entrada al simulador correspondan al mismo año, que corresponde al tiempo inicial de simulación.

Escenario 2 (Preservación). Este escenario, que se construye en la narrativa de preservación, señala que las coberturas boscosas son mantenidas y protegidas, favoreciendo la estabilización y recuperación de las poblaciones de fauna locales presentes en estas zonas. Se lleva un control más riguroso de la expansión de los centros poblados,

eliminando los efectos sobre las coberturas naturales aledañas. La función de los humedales se mantiene y fortalece, permitiendo los pulsos de inundación y sequía propias de la región. El cultivo de alimentos se diversifica y se mejoran las técnicas para aumentar la productividad, evitando la expansión agrícola a otras áreas naturales. Las áreas de vegetación secundaria en procesos de sucesión son mantenidas, permitiendo su regeneración natural.

Escenario 3 (Social). Este escenario considera aumento en los programas sociales, especialmente aquellos dedicados al cuidado del bosque y el agua, así como una mayor proporción de la población que participa en programas y proyectos. También se incrementan las condiciones para generar un interés común como enfoque integrado en el manejo y se promueven condiciones para mejorar el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) como factores detonantes de conflictos.

Escenario 4 (Combinado). Este escenario combina las variaciones sociales y ecológicas usadas en los escenarios dos y tres (social y preservación).

USOS Y USUARIOS RECOMENDADOS

La conceptualización y metodología puede ser usada por los interesados en el análisis de resiliencia socioecológica de un territorio, científicos, técnicos y tomadores de decisión.

Los datos obtenidos pueden servir para la toma de decisiones a la escala del paisaje analizado en el piedemonte del Casanare, para diferentes escenarios de uso del

suelo y de implementación de estrategias ambientales, sociales, productivas o económicas desde Ecopetrol u otros actores del territorio.

Se debe considerar que los datos generados hacen parte de los resultados del convenio FIBRAS, entre Ecopetrol y el Instituto Humboldt, por lo tanto, se sugiere complementar el análisis con datos de diferentes actores del territorio y en diferentes escenarios.

FUENTE DE DATOS UTILIZADOS

Andrade-Pérez, G. I., Avella Rodríguez, C., Baptiste-Ballera, B. L. G., Bustamante Zamudio, C., Chaves, M. E., Corzo, G., Galvis-Hernández, M., Giraldo R., A. M., Jaramillo Villa, Ú., Matallana-Tobón, C. L., Montoya, J., Mosquera, S. L., Osejo Varona, A., Pastás Cuastumal, E. M., Ramírez Hernández, W., Rinaudo Mannucci, M. E., Rubio Torgler, F., Tapia Caicedo, C., & Trujillo, M. (2018). *Transiciones socioecológicas hacia la sostenibilidad: Gestión de la biodiversidad en los procesos de cambio de uso de la tierra en el territorio colombiano*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35145>

Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>

Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T. M., Evans, L. S., Kotschy, K., Leitch, A. M., Meek, C., Quinlan, A., Raudsepp-Hearne, C., Robards, M. D., Schoon, M. L., Schultz, L., & West, P. C. (2012). Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 421-448.

<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>

Biggs, R., Schlüter, M., & Schoon, M. (2015). *Principles for building resilience: Sustaining ecosystem services in social-ecological systems*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316014240>

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M., & Abel, N. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems*, 4(8), 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>

Chaffin, B., Gosnell, H., & Cosens, B. (2014). A decade of adaptive governance scholarship: Synthesis and future directions. *Ecology and Society*, 19(3). <https://doi.org/10.5751/ES-06824-190356>

Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M.,

Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaat, F., Schröter, M., Lavorel, S., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

González-Quintero, C., & Avila-Foucat, V. S. (2019). Operationalization and Measurement of Social-Ecological Resilience: A Systematic Review. *Sustainability*, 11(21), 21. <https://doi.org/10.3390/su11216073>

Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.

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., & Gunderson, L. H. (2002). *Resilience and adaptive cycles*. Island Press. <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/67621>

Marschke, M. J., & Berkes, F. (2006). Exploring Strategies that Build Livelihood Resilience: A Case from Cambodia. *Ecology and Society*, 11(1). <https://www.jstor.org/stable/26267795>

Mouthon, A. F., Blanco, A. R. C., Acevedo, G. A. C., & Miller, J. (2002). *Manual de evaluación de estudios ambientales: Criterios y procedimientos*. CAB.

Osejo, A., Garrido, A. M., Álvarez, J., Martínez, S., Lara, D., Ruíz, O., & Posada, B. (2019). *Guía para la caracterización de la gobernanza en paisajes rurales*. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35455>

Osejo Varona, A., Gongora, M. K., Garrido, A. M., Martínez Medina, S., Cajigas, J. C., Lara, D. M., Bernal Galeano, S., & Piratova Silva, M. R. (2020). *Análisis de la relación entre gobernanza, conflictos socioecológicos y conservación de la biodiversidad en la alta montaña*. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35677>

Quinlan, A. E., Berbés-Blázquez, M., Haider, L. J., & Peterson, G. D. (2016). Measuring and assessing resilience: Broadening understanding through multiple disciplinary perspectives. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 677-687. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12550>

Resilience Alliance. (2007). *Assessing and managing resilience in social-ecological systems: A practitioners workbook*. <https://toolkit.climate.gov/reports/assessing-resilience-social-ecological-systems-workbook-practitioners>

Ros-Tonen, M. A. F., Derkyi, M., & Insaadoo, T. F. G. (2014). From Co-Management to Landscape Governance: Whither Ghana's Modified Taungya System? *Forests*, 5(12), 12.

<https://doi.org/10.3390/f5122996>

Salvia, R., & Quaranta, G. (2015). Adaptive Cycle as a Tool to Select Resilient Patterns of Rural Development. *Sustainability*, 7(8), 8.

<https://doi.org/10.3390/su70811114>

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>

Twery, M., & Gottschalk, K. (1996). Forest health: Another fuzzy concept. *Journal of Forestry*, 94, 20.

Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(4), 311-326.

<https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389>

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S., & Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in

Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 9(2).

<https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

Walker, B., & Salt, D. (2012). *Resilience Practice: Building Capacity to Absorb Disturbance and Maintain Function*. Island Press.