

EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS: UN ABORDAJE TEÓRICO DESDE LA COMPLEJIDAD

VULNERABILITY STUDY OF SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEMS: THEORETICAL APPROACH FROM COMPLEXITY

Leonardo Daniel Rodríguez Hernández¹, Rey Acosta Barradas² y Albertina Cortés Sol³

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Desarrollo, 2.1. Marco conceptual de la vulnerabilidad, 2.2. Los sistemas socioecológicos y su vulnerabilidad, 2.3. Los impactos de los sistemas socioecológicos frente a eventos externos. 3. Conclusiones, Fuentes de consulta.

RESUMEN

La crisis ambiental y climática planetaria está generando presiones, amenazas e impactos en todas las regiones del mundo, tanto en la dinámica de la biodiversidad y los ecosistemas como en los seres humanos. De acuerdo con la literatura especializada, estos impactos se asocian con el nivel de vulnerabilidad que presentan estos sistemas socioecológicos. Con el fin de abordar y proponer un enfoque teórico para el estudio de la vulnerabilidad en los sistemas socioecológicos, basado en la teoría de sistemas y de la complejidad, el presente escrito tiene como objeto identificar y describir las características de los elementos que determinan la vulnerabilidad y de esta manera contribuir en el análisis de sus diferentes

ABSTRACT

The planetary environmental and climate crisis is generating pressures, threats and impacts in all regions of the world, both in the dynamics of biodiversity and ecosystems, and in human beings. According to specialized literature, these impacts are associated with the level of vulnerability that these socioecological systems present. In order to address and propose a theoretical approach to the study of vulnerability in socioecological systems, based on systems and complexity theory, the purpose of this paper is to identify and describe the characteristics of the elements that determine vulnerability. . and in this way contribute to the analysis of its different levels of impact. Under this approach, the vulnerability of systems is a

¹ Doctor en desarrollo regional sustentable por El Colegio de Veracruz. Posdoctorante por México y docente de asignatura de la Universidad Veracruzana, México. Líneas de investigación: teoría de sistemas y complejidad, servicios ambientales, cambio climático y manejo integrado de cuencas hidrológicas.

² Doctor en Economía Agrícola con especialidad en Alimentos y Recursos Económicos (PhD) por la Universidad de Florida, Estados Unidos de América. Líneas de investigación: economía ambiental y ecológica, economía agrícola, economía de los recursos naturales, teoría económica, formulación y evaluación de proyectos.

³ Doctora en Neuroetología por la Universidad Veracruzana. Docente de tiempo completo de la Facultad de Biología, campus Xalapa, de la Universidad Veracruzana, México. Líneas de investigación: sistemas biológicos y complejidad, biología de la reproducción, fisiología.

niveles de impacto. Bajo este enfoque, la vulnerabilidad de los sistemas es un estado que resulta de la interacción de componentes sociales, económicos, ambientales, físicos e institucionales, organizados en una totalidad y cuyos impactos a los sistemas estarán dados por distintos agentes, eventos o riesgos; de tal manera que, si un sistema no se expone aun siendo vulnerable, no hay posibilidad de sufrir algún daño.

PALABRAS CLAVE: Interdisciplina, teoría de sistemas, sistemas complejos

state that results from the interaction of social, economic, environmental, physical and institutional components, organized as a whole and whose impacts on the systems will be given by different agents, events or risks; in such a way that, if a system is not exposed even if it is vulnerable, there is no possibility of suffering any damage.

KEYWORDS: Interdiscipline, systems theory, complex systems

1. INTRODUCCIÓN

La situación económica, social, política, ambiental y climática que se vive en pleno siglo XXI están generando ciertas presiones a las sociedades, a la biodiversidad y a los ecosistemas en todas las regiones del mundo, lo que está generando una serie de estragos en los sistemas socioecológicos que se ven reflejados a nivel físico, biológico y humano. No obstante, la literatura especializada señala, en gran medida, que los impactos que sufren dichos sistemas se corresponden con el nivel de vulnerabilidad que estos mismos presentan, basándose en la teoría de sistemas y sistemas complejos, en donde todo en la Tierra funciona como un sistema único y autorregulable. Es menester en este texto abordar y proponer un enfoque teórico y metodológico para el estudio de la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos, identificando y describiendo los elementos y componentes

que determinan la vulnerabilidad con el fin de contribuir en la comprensión de los posibles impactos ante la presencia de algún agente, evento o fenómeno; como por ejemplo la pandemia ocasionada en el año 2020 por la covid-19. Para ello, se realizó una recopilación y revisión en buscadores científicos, índices y repositorios de trabajos y proyectos institucionales, de organizaciones; artículos arbitrados y no arbitrados, mediante palabras clave y sus combinaciones, de literatura relacionada con estudios de vulnerabilidad a nivel mundial y en México desde el año 1990 a la fecha.

A partir de ello, se analizaron e identificaron pautas generales, características, modelos de evaluación, así como distintos elementos que sirvieron como fuente de información para el presente texto, haciendo evidente la variabilidad y la complejidad de elementos y componentes asociados al estudio de la

vulnerabilidad en sistemas socioecológicos. Con esta propuesta, además, se busca brindar una guía, en la elaboración, gestión y desarrollo de políticas públicas orientadas a la disminución de la vulnerabilidad en cualquier escala humana; así como brindar estrategias para la reducción de impactos o daños que algún agente potencial pueda causar a los sistemas socioecológicos, a partir de su exposición y las interacciones entre las partes que integran al sistema.

2. DESARROLLO

2.1 Marco conceptual de la vulnerabilidad

Si bien la literatura actual sobre vulnerabilidad es extensa, fue en la década de los noventa cuando aparecieron las primeras aproximaciones teóricas con orientación al cambio climático y riesgo (Adger, 1998; Adger & Kelly, 1999; Bohle et al., 1994; Cutter, 1996; Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático [IPCC], 1995). Desde

entonces, han surgido varias definiciones que enmarcan este concepto como un estado o una condición, como una amenaza, perjuicio o daño, o incluso como un modelo de cambio; de hecho, su significado ha tomado distintas connotaciones en función de las disciplinas que la evalúan y de los contextos de investigación para los que se plantea, aun cuando estos se den dentro de un mismo campo (Biswas & Nautiyal, 2023); en la Tabla 1 se mencionan algunos ejemplos en el tiempo:

Los ejemplos antes citados, aunque muestran consistencia en el concepto general de la vulnerabilidad que puede orientarse a un estado individual o colectivo, o simplemente a la exposición a un peligro, también reflejan la inexistencia de una definición fija y consensuada. Por lo tanto, abre la posibilidad de repensar que la vulnerabilidad es un concepto que, dependiendo de las disciplinas que lo abordan, objetivos, contextos y propósitos

Tabla 1. Definiciones de vulnerabilidad

Autores	El concepto de vulnerabilidad
Bohle et al., 1994	Define a la vulnerabilidad como la exposición a contingencias y la dificultad para afrontarlas. Manifiesta que la vulnerabilidad tiene dos caras: una cara externa de riesgos a las que está sujeto un individuo o un hogar; y un lado interno que es la indefensión, es decir, la falta de medios para afrontar la situación sin sufrir pérdidas perjudiciales.
Adger y Kelly, 1999	Plantean que la vulnerabilidad es el estado de los individuos, de los grupos, de las comunidades; definidas en términos de su capacidad para hacer frente y adaptarse a cualquier estrés externo colocado sobre sus medios de vida y su bienestar.
El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001)	Señala que es el grado por el cual un sistema es susceptible o es incapaz de enfrentarse a los efectos adversos del cambio climático, incluidas la variabilidad y los extremos del clima. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación a la que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación.
Khajuria y Ravindranath, 2012	Se refieren a la vulnerabilidad como el potencial de un sistema para ser perjudicados por una tensión externa, combinado por factores sociales y ambientales que podrían cambiar durante periodos más cortos o largos en el tiempo.
Closset et al., 2017	Se refieren a la vulnerabilidad como la propensión o predisposición a ser afectados de manera adversa, abarcando además una variedad de conceptos incluyendo la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para hacer frente a ellos y adaptarse.
Biswas y Nautiyal, 2023	Plantean que la vulnerabilidad es un concepto multidisciplinario definido por capacidades políticas, económicas e institucionales y en el que los individuos se consideran vulnerables por el hecho de estar en riesgo.

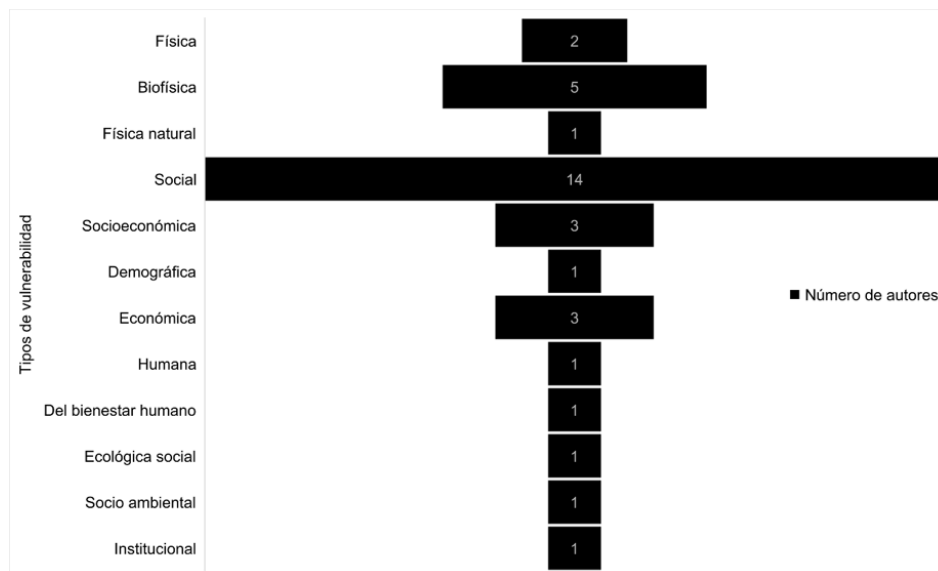
de su evaluación, se verá modificada en su forma de análisis.

En todos los casos puede haber una combinación de múltiples factores tanto sociales como económicos e institucionales (Aall & Norland, 2005; Acharya & Porwal, 2020; Adger et al., 2004; Becot & Inwood, 2022; Brooks et al., 2005; Khajuria & Ravindranath, 2012), lo que ha dado como resultado la definición de diversos tipos de vulnerabilidades en función de los factores y variables que se toman en cuenta al momento de llevar a cabo su evaluación; en este sentido, la vulnerabilidad social ha sido el enfoque más estudiado (Figura 1).

de resultado y de punto final, que deriva del daño que ha dejado un evento extremo o fenómeno a un sistema después de su aparición (Bruno et al., 2012; Füssel, 2007, 2010; O'Brien et al., 2007).

Por otra parte, en términos de escala, la vulnerabilidad puede ser analizada a nivel global, nacional, regional o local; pero también hace referencia a un grupo de personas de la misma población o a un conjunto de individuos de diversos grupos sociales (Huynh & Stringer, 2018). Por si fuera poco, existen las llamadas dimensiones de la vulnerabilidad (Figura 2). Estas han sido integradas para su evaluación desde distintas aristas y dentro de las cuales

Figura 1. Clasificación y tipos de vulnerabilidades nombradas en estudios desde 1990 a la fecha y el número de autores que la han investigado



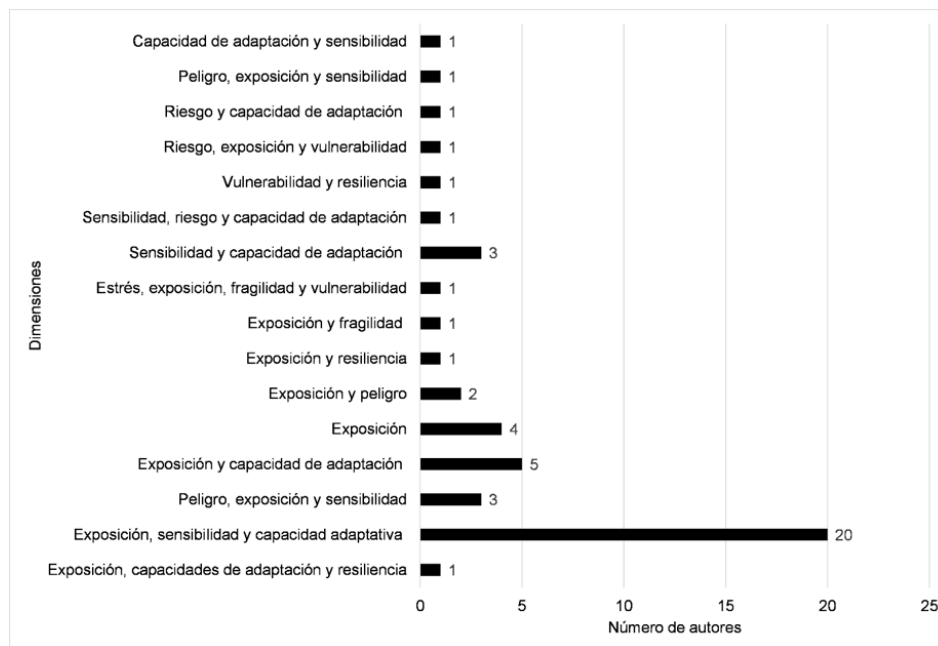
Fuente: elaboración propia

Considerando el tiempo y el espacio, es posible distinguir distintos tipos de vulnerabilidades: a) vulnerabilidad actual y contextual, las cuales son consideradas como un estado dinámico resultante de factores internos; y b) vulnerabilidad futura,

se ha incorporado de manera reciente el término “resiliencia” (Becot & Inwood, 2022; Lv & Sarker, 2024). Al respecto, el IPCC sostiene, desde 2001, que la vulnerabilidad se da como resultado de tres dimensiones: la exposición, la sensibilidad y

la capacidad adaptativa, siendo hoy en día el modelo de estudio de la vulnerabilidad más recurrente en materia de cambio climático. como sistemas abiertos, lo que indica que se encuentra en constante intercambio de materia y energía tanto en el ambiente interno como en el externo (Lilienfeld, 1984;

Figura 2. Dimensiones del análisis de la vulnerabilidad y número de autores que la sustentan



Fuente: elaboración propia

Hasta este punto es posible dar cuenta de los distintos elementos que están asociados al concepto de vulnerabilidad, por lo que integrarlos para su comprensión a fondo y con mayor precisión (dada la naturaleza de su diversidad), requiere necesariamente de la construcción de un modelo en donde se representen de manera conjunta estos y otros elementos en términos de su conceptualización, sin perder de vista que su aplicación obedece al enfoque sistémico.

2.2 Los sistemas socioecológicos y su vulnerabilidad

Desde la teoría de sistemas es posible considerar a los sistemas socioecológicos

Urteaga, 2010). El intercambio interno da como resultado una red de interacciones complejas que le confieren al sistema la cualidad de funcionar como una totalidad organizada, gracias a la confluencia de múltiples factores interactuantes (García, 2006; 2013). Al ser visto el sistema como una totalidad, en su interior existen distintos niveles de organización, estructuras y elementos que van desde lo más simple hasta las más complejo. Esta jerarquía permite una correspondencia entre los procesos internos de intercambio de materia y energía que se dan en él de manera natural (García, 2006).

Una de las bondades dada la organización y jerarquías existentes en el sistema es que permite llevar a cabo distintos niveles de análisis, dando pauta a la comprensión e interpretación de la realidad de manera más precisa (Menezes et al., 2018; Queiroz et al., 2016). El resultado de esta complejidad conlleva a observar al sistema como un todo, producto del conjunto, lo que le confiere mantener equilibrio y estabilidad en un estado óptimo; aspectos que pueden modificarse por efecto de algún agente externo o por la pérdida o alteración de un elemento interno.

No obstante, en los sistemas se reconoce la cualidad para regresar a ese estado homeostático, a la capacidad para formar nuevas estructuras estabilizadoras (García, 2006; 2013; Lilienfeld, 1984), proceso que algunos autores denominan de manera indistinta capacidad de adaptación o de resiliencia (Closset et al., 2017).

Como cualquier sistema, los socioecológicos poseen límites, los cuales, al igual que los niveles de organización, permiten la consecución de diversos horizontes de análisis y de estudio acordes a las realidades locales, analizados desde una metodología interdisciplinaria. En este aspecto pueden encontrarse límites individuales o grupales a nivel población o comunidades, razón por la cual, bajo la premisa de los límites, el sistema será siempre el objeto de estudio en una investigación interdisciplinaria (García, 2006; 2013).

Dada la cualidad sistémica, vista desde la teoría de sistemas (Lilienfeld, 1984), los socioecológicos son, sin excepción y por su propia naturaleza, vulnerables

(V), característica conferida gracias a dos dimensiones: la sensibilidad (S) y la resiliencia (R), aspectos que se diferencian de otros modelos propuestos, como es el del IPCC (1995) en donde se incluyen otras dimensiones (fórmula 1).

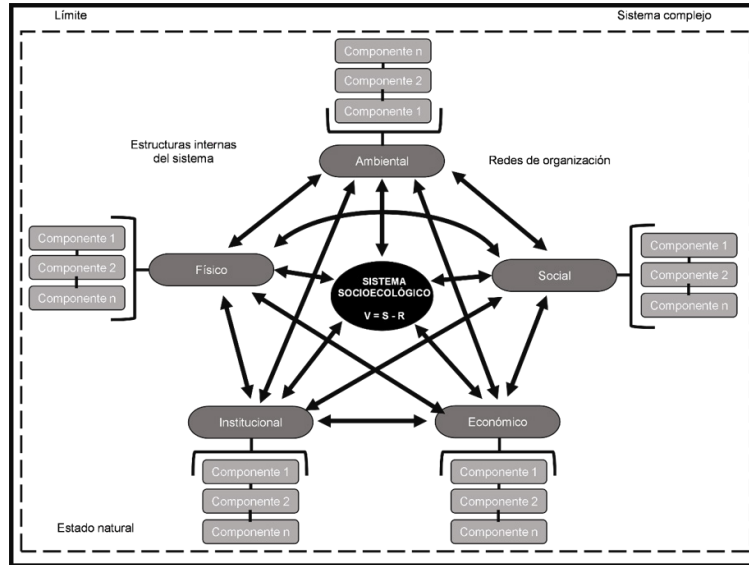
$$V = S - R \quad (1)$$

Tomando en cuenta lo expresado en la fórmula 1 es posible definir el concepto de vulnerabilidad (V) como un estado que guarda el sistema, producto de la sensibilidad y resiliencia; así como de las intra e interrelaciones existentes en su interior, siendo la sensibilidad (S) el grado de susceptibilidad del sistema para resultar impactado por la exposición a algún evento, fenómeno o peligro; mientras que la resiliencia (R) se destaca por ser la capacidad que tiene el sistema para prevenir, absorber, afrontar, resistir y recuperarse ante la exposición a algún evento, fenómeno o peligro, sin perder su estructura básica, sus funciones y su capacidad de auto-organización y adaptación al estrés y al cambio.

En ambos casos, tanto la sensibilidad como la resiliencia pueden ser vistas también como estados individuales de los sistemas socioecológicos las cuales pueden evolucionar en el tiempo (Aslan et al., 2021; Balvanera et al., 2017).

Respecto a lo anterior, dadas las relaciones de complejidad y los distintos niveles de organización, es posible subdividir a los sistemas socioecológicos en subsistemas y componentes, siendo estos últimos la escala más simple de análisis (Figura 3; Tabla 1).

Figura 3. Representación esquemática de los sistemas socioecológicos desde la complejidad y su vulnerabilidad



Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Ejemplo de los componentes que integran los subsistemas de los sistemas socioecológicos y que en su conjunto definen el nivel de vulnerabilidad

Subsistema	Componentes
Social	Tenencia de la tierra, acceso a la salud, capital humano, estado de salud, edad, educación, infraestructura, investigación y ciencia, capital social, cohesión social, acceso a servicios básicos, calidad de la vivienda, población, desarrollo tecnológico, cultura, derechos humanos, grupos étnicos y población indígena, sexo, seguridad alimentaria.
Económico	Inversión pública, investigación y ciencia, comercio y mercado, políticas fiscales y hacendarias, producción de bienes, inversión privada, desarrollo tecnológico, ingreso, actividades económicas (primarias, secundarias o de servicios), infraestructura, empleo, industria, sistemas de producción, acceso a créditos y financiamiento, activos económicos, dependencia económica, pobreza, marginación, seguridad alimentaria.
Ambiental	Uso del suelo y vegetación, topografía, flora, fauna, características físicas, químicas y biológicas de los suelos, ecosistemas, zonas costeras, orografía, recursos marítimos y pesqueros, ubicación geográfica, clima (temperatura, precipitación, humedad), calidad del aire, diversidad de especies, servicios ambientales o ecosistémicos, establecimiento de áreas protegidas, enfermedades o plagas, incendios forestales.
Físico	Infraestructura pública y privada, acceso a servicios básicos, red de caminos y carreteras, acceso a la salud, ubicación geográfica, infraestructura urbana y de servicios.
Institucional	Presencia y participación del Estado, instrumentos legales, normatividad y regulación, políticas fiscales y hacendarias, instituciones públicas, fortalecimiento de las empresas del Estado, acceso a la información, capacidad de respuesta gubernamental, seguridad pública, participación electoral y democrática, nivel de corrupción, acceso a la salud, acceso a la educación.

Fuente: elaboración propia

Es a partir de la figura 3 y la tabla 1 que se configuran los sistemas socioecológicos como complejos, donde cada uno de los elementos interactúan de tal manera que permiten su desarrollo: la vida misma. Es en este punto donde las intra e interrelaciones que ocurren entre cada uno de los niveles de organización y los elementos que conforman al sistema determinan su nivel de vulnerabilidad (fórmula 2).

$$V = [S(s_{c1,2,n}) + (e_{c1,2,n}) + (a_{c1,2,n}) + (f_{c1,2,n}) + (i_{c1,2,n})] - [R(s_{c1,2,n}) + (e_{c1,2,n}) + (a_{c1,2,n}) + (f_{c1,2,n}) + (i_{c1,2,n})] \quad (2)$$

Donde:

V = Vulnerabilidad

S = Sensibilidad

R = Resiliencia

s = Subsistema social

e = Subsistema económico

a = Subsistema ambiental

f = Subsistema físico

i = Subsistema institucional

c = Componentes

Con la configuración anterior es de destacarse que la presencia o ausencia de algunos de estos elementos condicionan el aumento o la disminución del nivel de vulnerabilidad del sistema. El resultado de ello puede observarse a través del nivel de pobreza, el grado de marginación, el nivel de degradación del medio ambiente, la biodiversidad, el nivel de desarrollo humano o a través del crecimiento económico o incluso el uso e introducción de tecnología (Ali & George, 2022; Pandey et al., 2017; Queiroz et al., 2016; Quintão et al., 2017). De hecho, los distintos componentes permiten comprender y comparar el nivel de vulnerabilidad que existe entre las distintas regiones del mundo, sobre todo en aquellas menos desarrolladas, incluyéndose

localidades y asentamientos tanto urbanos como rurales (Bouroncle et al., 2017; Huynh y Stringer, 2018).

2.3 Los impactos de los sistemas socioecológicos frente a eventos externos

Dado que la teoría de sistemas establece que los sistemas socioecológicos mantienen una relación muy estrecha con la materia y energía del exterior (fuera de sus

límites), esta situación pone de manifiesto el potencial ingreso de algún evento, fenómeno, riesgo o peligro al sistema y causarle algún daño o impacto potencial, el cual puede afectarlo por el hecho de permanecer expuesto (Bouroncle et al., 2017; Dunford et al., 2014).

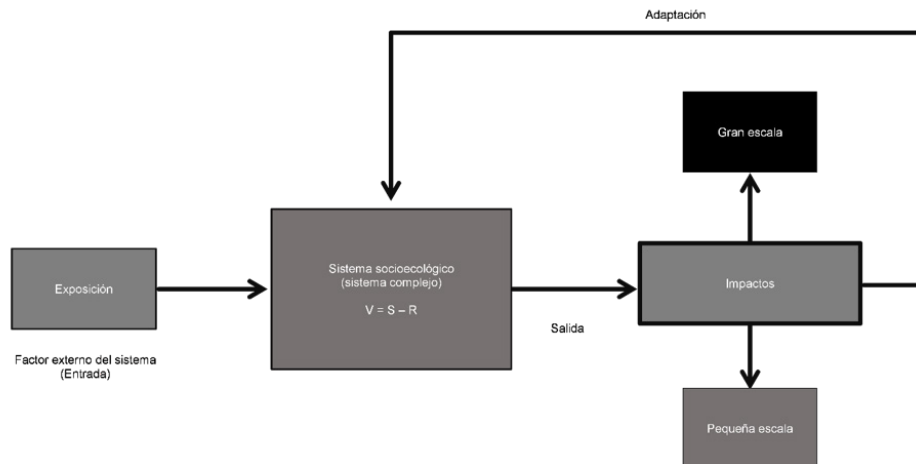
Al respecto, la exposición (E) -definida como la frecuencia y ocurrencia de cualquier agente, riesgo, evento, fenómeno o peligro- sumada al nivel de vulnerabilidad (V) del sistema, determinan los impactos potenciales (IP) al sistema, siendo estos últimos los daños que ha causado la presencia de algún agente, riesgo, evento, fenómeno o peligro en el sistema, producto del nivel de exposición y del nivel de vulnerabilidad, mismos que pueden ser de pequeña o gran escala (fórmula 3 y figura 4).

$$IP = E + V \quad (3)$$

Como resultado del impacto, el sistema puede extinguirse o tener la capacidad de reorganizarse y llevar a cabo un reacomodo de sus estructuras internas, proceso conocido como adaptación (A) el cual es considerado un mecanismo evolutivo por

el cual el sistema busca regresar a un estado óptimo y a un funcionamiento en equilibrio. Las premisas anteriores permiten identificar que los impactos potenciales pueden ser el resultado, por ejemplo,

Figura 4. Representación de la exposición, la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos y los impactos potenciales desde la teoría de sistemas.



Fuente: elaboración propia

Con lo mostrado en la figura 4 es posible contemplar la posibilidad de reducir los niveles de impactos potenciales de los sistemas socioecológicos a través de la identificación y el reconocimiento tanto de los niveles de exposición como de los factores que causan su vulnerabilidad, aunque para lograrlo es necesario el análisis de las diferentes perspectivas asociadas a cada elemento integrador (Romo-Aguilar et al., 2013).

Por esta razón es claro que los impactos pueden extenderse a uno o todos los elementos internos del sistema socioecológico, dada su naturaleza sistémica. El hecho anterior configura la posibilidad de la aparición de tres escenarios para el sistema: a) el sistema puede estar expuesto, pero no necesariamente ser vulnerable; b) el sistema puede ser vulnerable, pero no estar expuesto; y c) el sistema, además de estar expuesto, es vulnerable.

de procesos sociales expresados en desigualdades socioeconómicas, de condiciones ambientales, de la interacción de las normas sociales, de las instituciones públicas y políticas, de la dotación de recursos y tecnología, entre otros componentes (Closset et al., 2017; Mussetta et al., 2017).

Es precisamente en este punto que, dada la composición y niveles de organización presentes en el sistema socioecológico, existe la posibilidad de ocurrencia de una alteración de todo el sistema por efecto de algún agente, evento, fenómeno o peligro debido a su "interdefinibilidad" (García, 2013, p. 193).

Por ende, considerando la integración funcional del sistema distribuido en subsistemas y componentes como lo son los recursos naturales, la infraestructura, el Estado (representado por las instituciones

y todo un modelo de gobernanza), por mencionar algunos, estos constituyen piezas clave para la disminución o incremento tanto de los niveles de vulnerabilidad como de los impactos al sistema. De hecho, es posible enumerar algunos ejemplos en términos de la vulnerabilidad:

1. El Estado como parte del subsistema institucional, en su forma de gobierno federal, estatal o municipal, encierra y conjunta a cada uno de los subsistemas del sistema. Este componente permite el funcionamiento y desarrollo óptimo de cada subsistema al tejer las bases normativas e institucionales para el desarrollo y crecimiento económico, el bienestar social, la salud humana, la salud ambiental, el orden geográfico y territorial, la seguridad pública, la disminución de las alteraciones de los subsistemas ambiental y físico, entre muchos otros aspectos (Ali y George, 2022; Aslan et al., 2021; Becot y Inwood, 2022). Aquí el Estado es un elemento clave para funcionar como un sistema de engranajes, los cuales pueden traducirse en niveles de vulnerabilidad altos o bajos, aunque en muchas ocasiones, se corre el riesgo de la existencia de errores fomentados por la hiperactividad y el intervencionismo propio (Sen, 1998).
2. El subsistema ambiental, por su parte, es un activo muy importante en la provisión de bienes y servicios ambientales para beneficio del sistema. En el caso de los bienes, estos son utilizados como insumos en la producción o en el consumo en términos de precios, costos y beneficios, ya sea reales o simulados, lo que pone de manifiesto que, ante

la ausencia de algún recurso natural, probablemente no habría actividades económicas (Romero-León & Acosta-Barradas, 2014; Vergara-Tamayo & Ortiz-Mota, 2016).

3. Un servicio ambiental, traducido como la capacidad que tienen los procesos y componentes naturales para proveer de servicios que satisfacen las necesidades socioambientales y ecológicas permiten, de manera directa o indirecta, la regulación, la protección, la producción y el hábitat de distintos elementos naturales, así como el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos, como el caso del ciclo del agua, siendo este fundamental para el desarrollo y vida de los seres humanos y de otras especies (Rodríguez-Hernández et al., 2020). Un ejemplo de lo anterior son los manglares conservados, los cuales son eficaces para la protección de las zonas costeras ante eventos climáticos extremos (Amaral et al., 2023).
4. Respecto del punto anterior, los ecosistemas y suelos forestales cumplen y desempeñan un papel ecológico importante, dado que se encargan de la captura, regulación, almacenamiento y reciclaje del agua, garantizando su oferta en cantidad y calidad (Rodríguez-Hernández et al., 2020) recurso fundamental en términos de higiene y salud, además de mantener las reservas de carbono (Amaral et al., 2023).
5. Además de lo ambiental, existen aspectos físicos y geográficos que son elementales y que no escapan de las desigualdades y del nivel de vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos. De hecho, la geografía es fundamental toda vez que los

- elementos que ahí se desarrollan pueden significar beneficios o impactos negativos para los sistemas socioecológicos. (Barnard et al., 2022; Biswas y Nautiyal, 2023; Radoszynski y Numada, 2023). Algunos de estos elementos suelen estar dados por las diferentes latitudes, la cercanía o lejanía de las fronteras, los mares y océanos, las llanuras o montañas, el espacio y el territorio; sumados a otros como la gestión pública, actores públicos y políticos, instituciones públicas, grupos sociales, e incluso la participación e inclusión de la iniciativa privada (Ali y George, 2022; Becot y Inwood, 2022).
6. Bajo el contexto geográfico, cada sitio guarda particularidades que deben considerarse al momento de evaluar la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos y, sobre todo, sus impactos causados por algún agente. De hecho, el análisis del territorio y del paisaje en todas sus dimensiones permite proyectar las medidas de protección y adaptación acordes a las condiciones geográficas locales (Donatti et al., 2017; Lv & Sarker, 2024; Monterroso Rivas et al., 2018). Solo el hecho de que un individuo, grupo social o recurso ambiental se ubique en un territorio específico obliga a desarrollar acciones específicas para reducir su nivel de vulnerabilidad y sus niveles de impacto, pero, sobre todo, cuando se trata de incrementar su nivel de resiliencia. (Acharya & Porwal, 2020; Ali & George, 2022; Lv & Sarker, 2024). En este sentido, además de tomar en cuenta las características geográficas, es necesario visualizar otros elementos asociados a los componentes de los subsistemas social, económico, ambiental, físico e institucional.
 7. Dentro de los subsistemas social, económico e institucional, por ejemplo, las garantías de libertades, los derechos humanos y la igualdad entre los individuos son piezas fundamentales en la determinación del nivel de vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos en ciertas regiones y territorios (Barnard et al., 2022). Estos elementos, entre otras cosas, garantizan el goce y disfrute de satisfactores básicos, como el acceso a la educación, al agua, a la salud, a los servicios públicos y a la seguridad alimentaria; aspectos que finalmente se convierten en oportunidades o debilidades para que los sistemas disminuyan su nivel de vulnerabilidad e incrementen su resiliencia, alcanzando así un estado óptimo que les permita alcanzar el equilibrio, jugando además un papel fundamental en la generación de cambios sociales y económicos que se traducen en precursores de un desarrollo óptimo reclamado por el propio sistema (Becot & Inwood, 2022; Sen, 2000).

3. CONCLUSIONES

Vale la pena recalcar que el presente trabajo tiene como objeto proponer un modelo teórico y metodológico para el estudio y abordaje de la vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos desde el enfoque de la complejidad y la teoría de sistemas. El identificar y describir los elementos que lo integran pretende ser el punto de partida para la comprensión y atención de los procesos que provocan su

vulnerabilidad, poniendo en evidencia que los impactos causados por algún agente, evento, fenómeno o peligro están dados por múltiples factores, pero también por su nivel de exposición.

Por su parte, los tipos de vulnerabilidades descritos por otros autores corresponden solo a distintos niveles de análisis de los subsistemas que conforman a los sistemas socioecológicos, hecho que pone a discusión la existencia de un solo tipo de vulnerabilidad, pero con una perspectiva orientada al sistema en su conjunto, bajo una perspectiva interdisciplinaria, siendo precisamente las relaciones de interdependencia entre cada elemento del sistema (ya sea de menor o mayor complejidad), lo que convierte a un sistema vulnerable, ya que basta un solo cambio, alteración o pérdida de al menos uno de sus elementos para que se altere su funcionamiento y estabilidad.

La visión sistémica y la complejidad del sistema planteado posibilitan la orientación, elaboración, gestión y desarrollo de políticas públicas orientadas a la disminución de los niveles de vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos, promoviendo el incremento de su resiliencia y, sobre todo, promoviendo la generación de estrategias que ayuden en la reducción y prevención de riesgos. Esto, a través de un diseño hecho a la medida y acorde a las realidades de cada región y territorio, buscando en todo momento incrementar su resiliencia.

Desde la perspectiva teórica planteada en el presente análisis y tomando como base la teoría de la complejidad, con el simple hecho de conocer cuáles son los niveles de

exposición y el nivel de vulnerabilidad de los sistemas socioecológicos, es factible predecir cuál y de qué magnitud podrán ser los impactos potenciales desencadenados por algún fenómeno, ya sea físico o biológico. Por lo tanto, ante estos escenarios es posible brindar evidencias teóricas estructuradas que beneficien el proceso de toma de decisiones en favor de los sistemas socioecológicos, promoviendo la reducción de la vulnerabilidad y el incremento de la resiliencia; principalmente, en la reducción de los impactos frente a cualquier riesgo sanitario, tal y como sucedió en el año 2020 con la declaración de pandemia por causa de la covid-19.

Finalmente, repensar la dinámica y la búsqueda del equilibrio, desarrollo y bienestar de los sistemas socioecológicos en México y en otros países subdesarrollados, requiere del apoyo de diferentes disciplinas y áreas del conocimiento debido precisamente a la complejidad de este importante objeto de estudio.

FUENTES DE CONSULTA

- Aall, C., y Norland, I. T. (2005). *Report no. 6/05. Indicators for Local-Scale Climate Vulnerability Assessments.*
- Acharya, R., & Porwal, A. (2020). A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study. *The Lancet Global Health*, 8(9), e1142–e1151. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30300-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30300-4)
- Adger, W. N., y Kelly, P. M. (1999). Social Vulnerability to Climate Change and the Architecture of Entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 253–266.
- Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., y Agnew, M. (2004). New indicators of vulnerability and adaptive capacity. *Technical Report 7* (January). <https://shre.ink/De5f>
- Ahmed, J., Jaman, M. H., Saha, G., & Ghosh, P. (2021). Effect of environmental and socio-economic factors on the spreading of COVID-19 at 70 cities/provinces. *Heliyon*, 7(5), e06979. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06979>
- Ali, S., y George, A. (2022). Modelling a community resilience index for urban flood-prone areas of Kerala, India (CRIF). *Natural Hazards*, 113(1), 261–286. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05299-7>
- Amaral, C., Poulter, B., Lagomasino, D., Fatoyinbo, T., Taillie, P., Lizcano, G., Canty, S., Silveira, J. A. H., Teutli-Hernández, C., Cifuentes-Jara, M., Charles, S. P., Moreno, C. S., González-Trujillo, J. D., & Roman-Cuesta, R. M. (2023). Drivers of mangrove vulnerability and resilience to tropical cyclones in the North Atlantic Basin. *Science of the Total Environment*, 898(July). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165413>
- Aslan, C. E., Sandor, M., Sample, M., Stortz, S., Souther, S., Levine, C., Samberg, L., Gray, M., & Dickson, B. (2021). Estimating social-ecological resilience: fire management futures in the Sonoran Desert. *Ecological Applications*, 31(4), 1–14. <https://doi.org/10.1002/eap.2303>
- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., y Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Barnard, M., Mark, S., Greer, S. L., Trump, B. D., Linkov, I., & Jarman, H. (2022). Defining and analyzing health system resilience in rural jurisdictions. *Environment Systems and Decisions*, 42(3), 362–371. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09876-w>
- Becot, F. A. y Inwood, S. M. (2022). Medical economic vulnerability: a next step in expanding the farm resilience scholarship. *Agriculture and Human Values*, 39(3), 1097–1116. <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10307-4>
- Biswas, S., y Nautiyal, S. (2023). A review of socio-economic vulnerability: The emergence of its theoretical concepts, models and methodologies. *Natural Hazards Research*, 3(3),

- 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.05.005>
- Bohle, H. G., Downing, T. E., y Watts, M. J. (1994). Climate change and social vulnerability. *Global Environmental Change*, 4(1), 37-48. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0959-3780(94)90020-5)
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A., y Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change*, 141(1), 123-137. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1792-0>
- Brooks, N., Adger, W. N., y Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151-163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>
- Bruno, M. S., Gagnon, A. S., y Doherty, R. M. (2012). Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: A review. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 4(1), 6-35. <https://doi.org/10.1108/17568691211200191>
- Closset, M., Feindouno, S., Guillaumont, P., y Simonet, C. (2017). A Physical Vulnerability to Climate Change Index: Which are the most vulnerable developing countries? <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01719925v2>
- Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martínez-Rodríguez, M. R., Vignola, R., y Rodríguez, C. M. (2017). What information do policy makers need to develop climate adaptation plans for smallholder farmers? The case of Central America and Mexico. *Climatic Change*, 141(1), 107-121. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1787-x>
- Dunford, R., Harrison, P. A., Jäger, J., Rounsevell, M. D. A., y Tinch, R. (2014). Exploring climate change vulnerability across sectors and scenarios using indicators of impacts and coping capacity. *Climatic Change*, 128(3-4), 339-354. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1162-8>
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>
- Füssel, H. M. (2010). Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity, and impacts. *Development and Climate Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.07.009>
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa editorial.
- García, R. (2013). Investigación interdisciplinaria de sistemas complejos: Lecciones del cambio climático. *INTERdisciplina*, 1(1), 193-206. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2013.1.46545>

- Huynh, L. T. M., y Stringer, L. C. (2018). Multi-scale assessment of social vulnerability to climate change: An empirical study in coastal Vietnam. *Climate Risk Management*, 20, 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.02.003>
- Khajuria, A., y Ravindranath, N. H. (2012). Climate Change Vulnerability Assessment: Approaches DPSIR Framework and Vulnerability Index. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 03(01), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000109>
- Lilienfeld, R. (1984). *Teoría de sistemas: orígenes y aplicaciones en ciencias sociales*. Editorial Trillas.
- Lv, Y., & Sarker, M. N. I. (2024). Integrative approaches to urban resilience: Evaluating the efficacy of resilience strategies in mitigating climate change vulnerabilities. *Heliyon*, 10(6), e28191. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28191>
- Menezes, J.A., Confalonieri, U., Madureira, A. P., De Brito Duval, I., Barbosa, dos S. R., y Margonari, C. (2018). Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. *PLoS ONE*, 13(2), 1–30. <https://doi.org/doi.org/10.1371/journal.pone.0190808>
- Monterroso Rivas, A., Conde-Álvarez, A. C., Pérez-Damián, J. L., López-Blanco, J., Gaytan-Dimas, M., y Gómez-Díaz, J. D. (2018). Multi-temporal assessment of vulnerability to climate change: insights from the agricultural sector in Mexico. *Climatic Change*, 147(3–4), 457–473. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2157-7>
- Mussetta, P., Barrientos, M. J., Acevedo, E., Turbay, S., y Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 36, 119–147. <https://doi.org/empiria.36.2017.17862>
- O'Brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., y Schjolden, A. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, 7(1), 73–88. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685639>
- Pandey, R., Jha, S. K., Alatalo, J. M., Archie, K. M., y Gupta, A. K. (2017). Sustainable livelihood framework-based indicators for assessing climate change vulnerability and adaptation for Himalayan communities. *Ecological Indicators*, 79, 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.047>
- Panel de Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático [IPCC]. (1995). Resumen para responsables de políticas: análisis científicos y técnicos de impactos, adaptaciones y mitigación del cambio climático – grupo de trabajo II del IPCC. *Segundo informe de evaluación*. IPCC
- Panel de Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático [IPCC]. (2001). Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas cambio climático 2001. *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001*

- Impactos, adaptación y vulnerabilidad Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico.* IPCC
- Queiroz, L. de A., Welle, T., y Birkmann, J. (2016). Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 251-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>
- Quintão, A. F., Brito, I., Oliveira, F., Madureira, A. P., y Confalonieri, U. (2017). Social, Environmental, and Health Vulnerability to Climate Change: The Case of the Municipalities of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental and Public Health*, 2017, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/2821343>
- Raduszynski, T., & Numada, M. (2023). Measure and spatial identification of social vulnerability, exposure and risk to natural hazards in Japan using open data. *Scientific Reports*, 13(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27831-w>
- Rodríguez-Hernández, L. D., Valdés-Rodríguez, O. A., Ellis, E. A., y Armenta-Montero, S. (2020). Analysis of vulnerability of the Río Misantla basin to extreme hydrometeorological phenomena. *Biociencias*, 7, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.15741/revbio.07.e900>
- Romero-León, K., y Acosta-Barradas, R. (2014). *Economía Ambiental y Ecológica. Perspectivas para el desarrollo.* Facultad de Economía de la Universidad Veracruzana.
- Romo-Aguilar, M. de L., Collins, T., Grineski, S., Aldouri, R., Velázquez, G., y Fitzgerald, R. (2013). *Climático en la evaluación de la vulnerabilidad a peligros ambientales en ciudades de la frontera México-Estados Unidos: el Paso, tx-Ciudad Juárez, Chihuahua.* En L. R. Pérez-Floriano & J. M. Rodríguez-Esteves (Eds.), *El análisis del riesgo y riesgo en la frontera: aportes desde las ciencias sociales.*
- Sen, A. (1998). Las teorías del desarrollo a principios del siglo XXI. *Revista Cuadernos de Economía*, 17(29), 73-100.
- Sen, A. (2000). El desarrollo como libertad. *Gaceta Ecológica*, 55, 14-20.
- Urteaga, E. (2010). La teoría de sistemas de Niklas Luhmann. *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, XV, 301-317. <https://www.uma.es/contrastes/pdfs/015/contrastesxv-16.pdf>
- Vergara-Tamayo, C. A., y Ortiz-Mota, D. C. (2016). Desarrollo sostenible: enfoques desde las ciencias sociales. *Revista Apuntes del CENES*, 35(62), 15-52.