



Manual

Resiliencia de sistemas socioecológicos: enfoques y herramientas para su estudio

Autores:

Véronique Sophie Avila Foucat

Alejandra Ramírez León

Instituto de Investigaciones Económicas

UNAM

2025

Colaboradores

Alberto Avila Núñez

Andrea Sofía Orozco Miranda

Aurora Davidia Flores Pardo

Daniel Cohen Salgado

Daniela Camargo Núñez

Lizet Marín Jurado

Autores:**Véronique Sophie Avila Foucat****Alejandra Ramírez León***Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM*

Objetivo didáctico: Proporcionar a los estudiantes de licenciatura y posgrado una comprensión profunda de la resiliencia socioecológica, incluyendo sus bases conceptuales, marcos teóricos, métodos de análisis y aplicaciones prácticas, con el fin de que puedan comprender la complejidad de las interacciones entre los sistemas sociales y ecológicos, analizar la resiliencia de diferentes sistemas socioecológicos y evaluar la resiliencia utilizando diferentes métodos y herramientas. Lo anterior a fin de que sean capaces de aplicar el concepto de resiliencia en la gestión de recursos naturales, la adaptación al cambio climático y la búsqueda de soluciones a los desafíos socioambientales.

Citar el documento como:

“Manual: Resiliencia de sistemas socioecológicos: enfoques y herramientas para su estudio”

Avila-Foucat Véronique Sophie y Ramírez León Alejandra © 2025, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Creative Commons Atribución, No comercial Código Legal: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.es>, (CC-BY-NC).

Este documento se realizó con apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT IV300123.

INDICE

INTRODUCCION 6

1. ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS? 8

1.1 Definición de sistema complejo..... 8

1.2 Características de los sistemas adaptativos complejos 9

1.3 Definición de sistema socioecológico 10

1.3.1 Delimitación de un sistema socioecológico 12

1.3.2 Estudio de caso en San Andrés Cuexcontitlán 14

1.3.3 Estudio de caso volcán Ayaquémetl..... 16

1.4 Marcos conceptuales para el análisis de sistemas socioecológicos 17

1.4.1 Estudio de caso en Los Ranchitos. 20

1.4.2 Estudio de caso en Galacia..... 22

Actividad 1. Delimitación de un Sistema Socioecológico 24

2. ¿QUÉ ES LA RESILIENCIA DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS? 26

2.1 Conceptos clave para medir la resiliencia socioecológica 30

2.1.1 Estudio de caso de las dunas costeras en Sisal 32

2.1.2 La metáfora de la resiliencia en la “cuenca de atracción”..... 35

2.2. Atributos de resiliencia. 36

Ejercicio de repaso..... 40

3. ¿CÓMO EVALUAR LA RESILIENCIA EN SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS? 42

3.1 Resiliencia específica y resiliencia general 42

3.2 ¿Resiliencia de qué y a qué? 43

3.3 ¿Resiliencia para qué? 44

3.4 Las escalas en la medición de resiliencia	44
3.5 Herramientas analíticas para el estudio de la resiliencia	47
3.5.1 Definición de variables.....	47
3.5.2 Índices	48
3.5.3 Construcción de modelos	48
3.6 Estudio de caso en Ixil.....	49
3.7 Estudio de caso en el Ejido Galacia.....	57
Actividad 2. ¿Resiliencia de qué? ¿Resiliencia a qué?	64
CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXO 1. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	76

INTRODUCCION

En las últimas décadas, el estudio de la resiliencia en sistemas socioecológicos (SSE) ha cobrado gran relevancia para comprender y abordar los desafíos de la sostenibilidad en un mundo en constante cambio. Este documento tiene como objetivo proporcionar a estudiantes de licenciatura y posgrado una introducción completa al concepto de resiliencia socioecológica, sus atributos y métodos de análisis. Se exploran las bases conceptuales de la resiliencia, los diferentes marcos teóricos para su estudio, y las herramientas metodológicas para su evaluación. También se examina cómo los SSE responden a las perturbaciones, se adaptan a las nuevas condiciones y se transforman para mantener su funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo.

Este documento surgió del curso-taller “Resiliencia de sistemas socioecológicos” impartido en el marco del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad en la sede del Instituto de Investigaciones Económicas en enero de 2024. La idea de plasmar en este documento los tópicos más relevantes del estudio de la resiliencia socioecológica, es resultado de la discusión y convivencia con los estudiantes de maestría y doctorado que asistieron y expresaron la preocupación de tener una orientación más práctica, disponible y accesible sobre la relevancia de entender la resiliencia socioecológica y los retos que implica su medición. Así, este documento busca brindar a los estudiantes una comprensión profunda pero práctica de la resiliencia socioecológica, capacitándolos para analizar la dinámica de los SSEs y contribuir en la búsqueda de soluciones de desafíos ambientales y sociales actuales.

Este documento está organizado de la siguiente manera: la sección 1 describe la definición de sistema complejo, sus bases epistemológicas y principales características. Después se describe la definición de sistemas socioecológicos y se explica la importancia de delimitar el sistema, paso primordial para su estudio. Esta sección concluye con un breve paseo sobre los principales marcos teóricos que han sido utilizados para el estudio de los sistemas socioecológicos.

La sección 2 presenta la definición de resiliencia socioecológica y la deconstruye para entender los conceptos clave asociados a ella, además de explicar la metáfora de la cuenca de atracción y exponer los atributos de resiliencia socioecológica. La sección 3 explica la importancia de precisar conceptualmente la resiliencia socioecológica para poder establecer aproximaciones

metodológicas apropiadas. Plantea para ello, preguntas relevantes como ¿resiliencia a qué? ¿resiliencia de qué? y ¿resiliencia para qué? a fin de exponer la importancia de reflexionar en sus respuestas para poder operacionalizar su medición.

A excepción de unas cuantas tablas e ilustraciones, la mayoría de las imágenes y ejemplos fueron elaborados por los alumnos del curso-taller “Resiliencia de sistemas socioecológicos” como parte de las actividades desarrolladas en él. Agradecemos su participación entusiasta y comprometida y las aportaciones realizadas a este documento.

1. ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS?

1.1 Definición de sistema complejo

Muchos estudios, como los de Estrada (2023) y Ladyman et al. (2013), han profundizado en la discusión sobre la definición y características de los sistemas complejos y la cuestión de cómo proponer una definición que evite confusiones y redundancias para hacer un mejor uso del concepto. Esta no ha sido una labor sencilla, ya que desde muchas disciplinas se han planteado diversas definiciones que tratan de reflejar el significado de la complejidad y sus características. Se ha planteado la necesidad de ir más allá de la aseveración común de sistema complejo como aquello que es demasiado difícil de entender o verificar (Maass, 2018), ya que de ello dependerá un adecuado estudio de la complejidad y el desarrollo de la ciencia que la estudia (Ladyman et al., 2013).

Esto es particularmente relevante en el estudio de las interacciones sociedad-naturaleza que se desarrollan en distintos ámbitos sociales, culturales, políticos, económicos, jurídicos y que ocurren en contextos históricos, geográficos y demográficos específicos (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021). Sin duda el estudio de estas interacciones como sistemas complejos ha permitido desarrollar teorías y metodologías útiles en el ámbito académico, pero su utilidad también abarca generar conocimiento para tomar decisiones basadas en evidencia. De ahí la importancia de reflexionar en el cambio de paradigma que implica definir los sistemas complejos.

Se ha documentado que la teoría de la complejidad fue propuesta por Bertalanffy en 1930 pero fue relevante muchos años después. Hablar de complejidad implica, según Martínez Romero & Esparza Olguín (2021), “un cambio en el pensamiento científico que transforma la visión del mundo de una perspectiva analítica a una perspectiva sistémica. Es decir, la ciencia en vez de descomponer o analizar sus objetos de estudio reduciéndolos a elementos aislados, intenta explicar los fenómenos a partir de sus múltiples determinaciones o de las interacciones de sus elementos”. Además, según explica García (2006), estudiar los sistemas complejos implica la construcción activa del conocimiento por parte del investigador, en contraposición a la idea de que el conocimiento es un simple reflejo o descubrimiento pasivo de la realidad objetiva.

Este cambio de perspectiva ha impactado la ciencia y la tecnología en muchos campos configurando la teoría de sistemas complejos que abarca diversos marcos conceptuales y metodológicos bajo una misma perspectiva que se ha denominado pensamiento sistémico. El pensamiento sistémico brinda “una visión holista, orgánica o de totalidad, donde los problemas de organización son fenómenos no descomponibles e interacciones dinámicas...[que permite]... explicar fenómenos complejos no aislados, que interactúan con otros elementos de manera interna y externa” (Martínez Romero & Esparza Olguín, 2021:376).

García (2006: 21) definió a un sistema complejo como “...una representación de un recorte de la realidad compleja, conceptualizado como una totalidad organizada... en la cual los elementos no son “separables” y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente”. Más recientemente, gracias a las disertaciones hechas por Estrada (2023) y Ladyman et al. (2013), un sistema complejo puede definirse como un conjunto de elementos interconectados que interactúan de manera no lineal, produciendo propiedades emergentes que no pueden deducirse de las características de los componentes individuales. Estos sistemas se caracterizan por la interacción bidireccional entre las partes y el todo, lo que significa que la identidad y el comportamiento de los componentes dependen tanto de sus interacciones locales como de la estructura y dinámica global del sistema. Así, las propiedades del todo no son reducibles a la suma de sus partes, y viceversa, los componentes adquieren características particulares en función de su participación en un sistema global.

1.2 Características de los sistemas adaptativos complejos

Una vez definido el concepto de sistema complejo, es menester abordar sus principales características para poder comprender la complejidad inherente a los sistemas adaptativos complejos y el reto que implica su estudio. Al igual que el concepto de sistema complejo, abunda la polémica en torno a las características que los definen, sin embargo, autores como Estrada (2023), García (2006); Ladyman et al. (2013), Maldonado (2014), Siegenfeld y Bar-Yam (2020) coinciden en las siguientes características:

1. **No linealidad.** Las relaciones entre los componentes no son proporcionales ni aditivas, lo que provoca que pequeñas perturbaciones puedan generar grandes cambios en el comportamiento del sistema.

2. **Emergencia.** Las propiedades emergentes son fenómenos que surgen de las interacciones entre las partes, y que no pueden predecirse a partir del comportamiento aislado de los componentes.
3. **Interdependencia.** Los elementos de un sistema complejo están altamente interrelacionados, de modo que las acciones de un componente afectan a otros, generando un comportamiento colectivo que no es intuitivo ni fácilmente predecible.
4. **Retroalimentación.** Los sistemas complejos a menudo presentan bucles de retroalimentación, en los cuales los componentes ajustan su comportamiento en función de las interacciones previas, lo que contribuye a la estabilidad o adaptación del sistema.
5. **Robustez y falta de control central.** Estos sistemas son robustos frente a perturbaciones, ya que su orden emerge de las interacciones descentralizadas entre los componentes, en lugar de ser dirigido por un control central.
6. **Jerarquía de organización.** Los sistemas complejos exhiben múltiples niveles de organización, desde componentes individuales hasta niveles superiores de estructura, cada uno con dinámicas propias que interactúan entre sí.

De estas propiedades se deduce que los sistemas complejos son capaces de autoorganizarse y adaptarse, manteniendo un equilibrio dinámico que les permite resistir perturbaciones sin perder su coherencia sistémica, a lo que se le denomina **sistema adaptativo complejo**.

1.3 Definición de sistema socioecológico

Los sistemas socioecológicos (SSEs) han sido definidos de muchas maneras, Biggs et al. (2022) los plantea como una estructura compleja que entrelaza componentes sociales y ecológicos que interactúan de manera dinámica y adaptativa. Por su parte, Partelow (2016) y Preiser et al. (2018) señalan un sistema socioecológico como un marco conceptual que abarca interacciones entre sistemas sociales y ecológicos entendidos como una unidad interdependiente. Berkes et al. (2003) definieron un sistema socioecológico como un sistema vinculado de personas y naturaleza en el que las personas dependen de la naturaleza y la naturaleza está influenciada por las personas, asume así que los humanos son parte de la naturaleza, no separados de ella, y que la distinción entre sistemas sociales y naturales es artificial. Así, la definición de SSE plantea las interacciones entre los seres humanos y los ecosistemas, incluyendo elementos sociales (como gobernanza, economía y cultura) y

ecológicos (biodiversidad, ciclos biogeoquímicos, recursos naturales, entre otros) y cómo sus interacciones generan propiedades emergentes que no pueden ser predichas a partir de sus partes individuales. Además, los SSEs se caracterizan por establecer relaciones de retroalimentación y adaptaciones constantes a cambios internos y externos (Biggs et al., 2022; Folke, 2007). Por tanto, estos sistemas son dinámicos y complejos, lo que demanda un enfoque integrado para su comprensión y gestión.

Dado que los SSEs plantean una comprensión profunda de las interacciones entre seres humanos y sus entornos naturales, este enfoque ha influenciado estudios internacionales y nacionales sobre sostenibilidad, ya que actualmente abordan sus desafíos en el contexto del Antropoceno donde los seres humanos han alterado los ecosistemas de manera sin precedentes (Preiser et al., 2018; Rockström et al., 2009). Así, el análisis de los SSEs permite identificar puntos críticos y dinámicas que, si no se gestionan adecuadamente, pueden conducir a la degradación ecológica, la pérdida de biodiversidad y la ruptura de los servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano (Richardson et al., 2023; Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Entre las principales características de los SSEs, se encuentran las siguientes:

- 1. Procesos dinámicos y no lineales.** Las interacciones dentro de los SSEs suelen ser no lineales, lo que significa que pequeños cambios pueden desencadenar grandes efectos, o viceversa. Estas dinámicas pueden llevar a transiciones repentinas o reorganizaciones en la estructura y funcionamiento del sistema.
- 2. Adaptabilidad y autoorganización.** Tienen la capacidad de reorganizarse y adaptarse a cambios internos y externos, como resultado de las interacciones entre sus componentes. Estos sistemas muestran resiliencia frente a perturbaciones, ajustando sus estructuras para mantener su funcionalidad.
- 3. Emergencia de propiedades nuevas.** Las propiedades emergentes son aquellas que surgen de las interacciones entre los componentes del sistema y no pueden ser deducidas a partir del análisis de los elementos individuales. Estas propiedades incluyen la resiliencia, la capacidad de adaptación y los cambios en los regímenes socioecológicos.

4. **Dependencia del contexto.** Los SSEs están influenciados por su contexto histórico y geográfico. Los cambios en el contexto pueden alterar las dinámicas del sistema, generando nuevas formas de interacción y adaptaciones.
5. **No linealidad y retroalimentación.** Las interacciones dentro de los SSEs son no lineales, lo que significa que pequeños cambios pueden generar grandes impactos y viceversa. Además, los bucles de retroalimentación (positivos y negativos) juegan un papel clave en la regulación del comportamiento de estos sistemas, contribuyendo a su estabilidad o provocando cambios abruptos.
6. **Escalas múltiples.** Los SSEs operan a diferentes escalas, tanto temporales como espaciales, desde lo local hasta lo global. Las dinámicas que afectan a un nivel pueden tener consecuencias imprevistas en otros niveles, lo que demanda un enfoque multiescalar para su análisis.

1.3.1 Delimitación de un sistema socioecológico

Los SSEs entendidos como sistemas adaptativos complejos permiten estudiar “...un *trozo de la realidad* que abarca aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos” (García, 2006: 47). Se ha mencionado anteriormente, hay diferentes aproximaciones teóricas para estudiar estos sistemas, sin embargo, antes de elegir un marco teórico, es importante *identificar con precisión el sistema* para definir así un punto de partida dentro de un marco epistémico apropiado para estudiar la complejidad (García, 2006: 47). De esta manera, diversos autores como García (2006), Perevochtchikova (2018) y Vidal-Hernández et al. (2020) han señalado que se debe “delimitar el sistema” en estudio, es decir, definir sus componentes que están constituidos por límites, subsistemas, variables e interacciones internas y externas. Es normal que al comienzo de una investigación no se vislumbre con certeza cuáles son estos componentes y su entendimiento sucede a medida que se avanza en dicha investigación, sin embargo, es indispensable esbozar los componentes que planteamos comprender desde el inicio.

Así, delimitar un sistema complejo para su estudio no es trivial, sino que requiere una reflexión teórica-conceptual sobre lo que significa cada componente, a saber:

1. **Límites.** Establecer los límites requiere definir las interacciones del sistema con un medio externo y cómo este influye en las interacciones internas del sistema y viceversa (García,

2006). Los límites no son sólo físicos, también abarcan otro tipo de escalas temporales (anual, estacional, diario), geográficas (local, regional, global), jurisdiccionales (administraciones, p. e. federación, municipio) e institucionales (reglas, p. e. constituciones, reglas de operación) (Camacho Valdez et al., 2020:123). Las interacciones externas se manifiestan hacia el interior del sistema en forma de flujos de materia, energía, créditos, información, etcétera, y cada flujo genera reorganizaciones en el sistema que pueden ser rápidas o lentas (García, 2006).

2. **Subsistemas.** Los subsistemas son aquellos entre los cuales se establecen las relaciones significativas que dan lugar a la estructura y límites del sistema. Los subsistemas también son “unidades” complejas, compuestas por variables que interactúan entre sí, dicho conjunto conforma la estructura. De la dinámica de estas interacciones la estructura puede irse modificando en el tiempo y espacio. Es importante mencionar que en la realidad existen un sinnúmero de interacciones y un primer esfuerzo al delimitar el SSE es hacer una representación sencilla de la realidad. Es decir que debemos preguntarnos qué interacciones son las más importantes para la dinámica del sistema. Con ello se requiere establecer criterios de selección para lo que es indispensable definir con claridad las escalas del sistema o de los fenómenos inherentes a él (p. e. movimientos atmosféricos) y cómo interactúan entre sí (p. e. a través de flujos).
3. **Variables.** Las variables son elementos o factores que pueden cambiar y afectar el comportamiento del sistema. Son determinadas por las escalas de las interacciones a estudiar y a la delimitación de un período de estudio, por lo que comprenderlas a profundidad implica el análisis de la evolución del sistema. Las variables determinan la estabilidad o inestabilidad del sistema para enfrentar perturbaciones, lo cual implica analizar cuándo y cómo se transforma una estructura. Entonces, las variables son útiles en el análisis de procesos de reorganización.
4. **Interacciones y procesos de retroalimentación.** Las interacciones son las relaciones e intercambios entre diferentes subsistemas dentro del sistema y pueden ser interacciones directas e indirectas. Estas interacciones pueden tener lugar a nivel local, regional, nacional e internacional. En todos estos niveles existen dinámicas y actores diferentes que están estrechamente vinculados y se retroalimentan mutuamente (García, 2006). Se define escala como la dimensión espacial o temporal utilizada para medir un

fenómeno, mientras que nivel se refiere a las unidades de análisis dentro de una escala (Camacho Valdez et al., 2020). Los procesos de retroalimentación son bucles en los que una acción o cambio en el sistema provoca una respuesta que influye en la acción original. Estos procesos pueden ser positivos cuando amplifican los cambios en el sistema o negativos que amortiguan los cambios en el sistema, promoviendo la estabilidad. Las interacciones, por su parte moldean la estructura del sistema, la cual no es rígida ni tiene condiciones de equilibrio estático, sino que son “...conjuntos de relaciones en un sistema organizado que se mantiene en condiciones estacionarias (para ciertas escalas de fenómenos (...)) y de tiempo, mediante procesos dinámicos de regulación (...)” (García, 2006:52).

1.3.2 Estudio de caso en San Andrés Cuexcontitlán

Para ilustrar la delimitación teórica de un SSE, se expone el caso de un SSE de Provisión de Agua y Electricidad de la comunidad de San Andrés Cuexcontitlán, municipio de Toluca, Estado de México (Figura 1). En esta localidad residen más de 33 mil habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020) siendo una de las zonas con mayor crecimiento urbano y demográfico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). Su población, de origen otomí (ñatho), realiza asambleas vecinales encargadas de la gestión del agua para las secciones II, IV y VI de la localidad, mientras que para los demás pozos de extracción (cuatro) los sistemas de cobranza y distribución son manejados por el Ayuntamiento de Toluca (Avila Núñez, 2024; Rojas-Álvarez, 2013). Esto ha generado conflictos en la localidad: por una parte, las asambleas vecinales enfrentan incertidumbre legal sobre su validez como institución y los gobiernos municipal y estatal alientan su extinción. Por otra parte, se ha incumplido en pagos de electricidad dada la baja recaudación que tienen las asambleas (un pago máximo de \$60.00 mensuales por toma) y se ha precarizado la infraestructura hídrica desde inicios de siglo debido al abandono progresivo de las políticas públicas municipales (Avila Núñez, 2024; Cadena-Inostroza & Morales-Fajardo, 2021). Estos conflictos se han agravado por el crecimiento urbano desordenado impulsado desde finales del siglo XX por la construcción de parques industriales cercanos (p. e. Toluca 2000), la creación de la zona aeroportuaria y la migración. Esta situación ha tenido consecuencias ya que en la década de los 90s se perdió el agua de los Bordos

tradicionales (la Bandera y la Planta) y comenzó la contaminación de los cuerpos de agua en la zona (Río Verdiguél, Río Tejalpa y ramales del Río Lerma) (González-Flores, 2018).

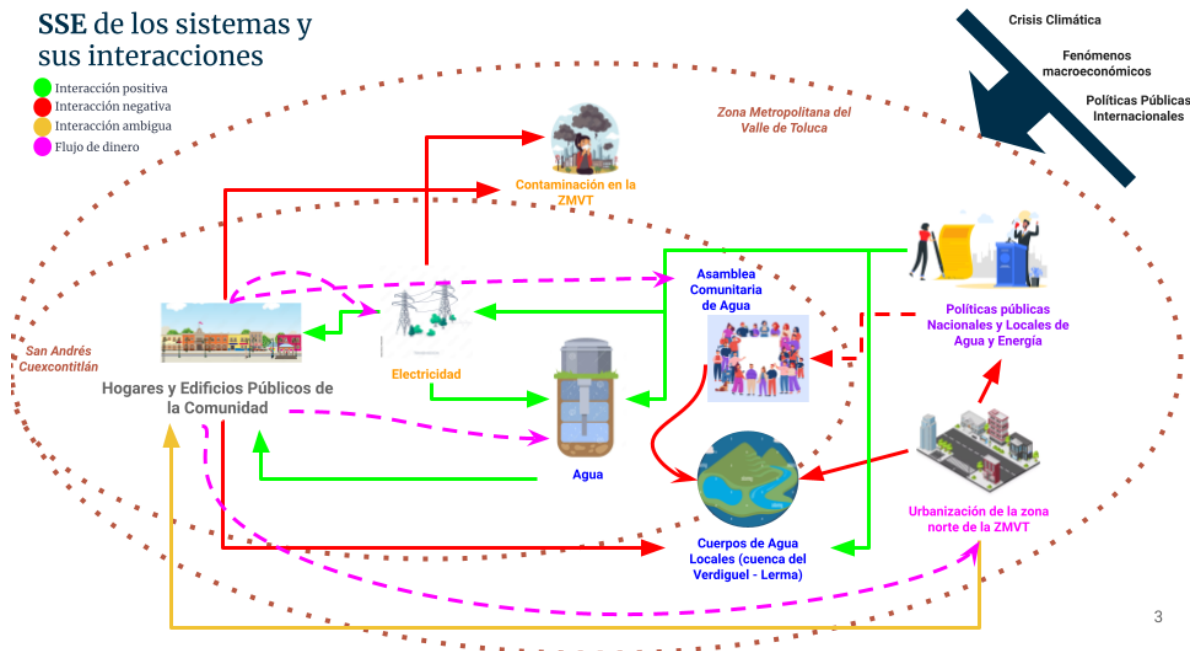


Figura 1. SSE de Provisión de Agua y Electricidad de la comunidad de San Andrés Cuexcontitlán, municipio de Toluca, Estado de México. Fuente: Avila Nuñez, 2024.

En la Figura 1 se establecen como interacciones externas la crisis climática, fenómenos macroeconómicos y políticas públicas internacionales. Mientras que las interacciones internas se clasifican en 3 tipos, según sus procesos de retroalimentación: positivas (líneas verdes), negativas (líneas rojas) y flujos de dinero (líneas punteadas color rosa). Estas interacciones tienen lugar entre la urbanización de la ZMVT y los hogares de la comunidad (líneas naranjas), que son las escalas de análisis. También se pueden observar agentes clave que actúan en este sistema, como son las asambleas comunitarias de agua. En cuanto a las variables de este sistema, se pueden identificar al agua, electricidad, hogares y edificios públicos en la localidad y las políticas públicas nacionales y locales de agua y energía (Avila Núñez, 2024).

1.3.3 Estudio de caso volcán Ayaquémétl.

Otro caso que ejemplifica cómo se delimita un sistema para su estudio es el SSE de montaña “Volcán Ayaquémétl” o Ayauhquemeh “el que tiene vestimenta de neblina” (Figura 2). Este sistema comprende un volcán inactivo que forma parte de la sierra Chichinautzin y el polígono de “Bosque de agua” y se localiza entre dos principales localidades de San Nicolás Tetelco, en la alcaldía Milpa Alta de la Ciudad de México y el pueblo de San Juan, San Pedro Tezompa, en el municipio de Chalco, Estado de México. Esta montaña fue muy apreciada en la época prehispánica, hacia la década de 1950 aún contaba con bastante vegetación en su zona alta y media, cultivos de milpa tradicional y forrajes en la parte media baja y con fauna endémica. Sin embargo, en la actualidad está severamente impactada por actividades humanas como agricultura en algunas zonas altas, construcción de pozos, carreteras y casetas de vigilancia, contaminación por residuos sólidos, caza, incendios, asentamientos irregulares hasta la zona media, entre otros (Marín Jurado, 2024). Cabe agregar que la extensión de área verde en el cerro del Ayaquémétl es un importante pulmón que provee oxígeno y agua a los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (Marín Jurado, 2024).

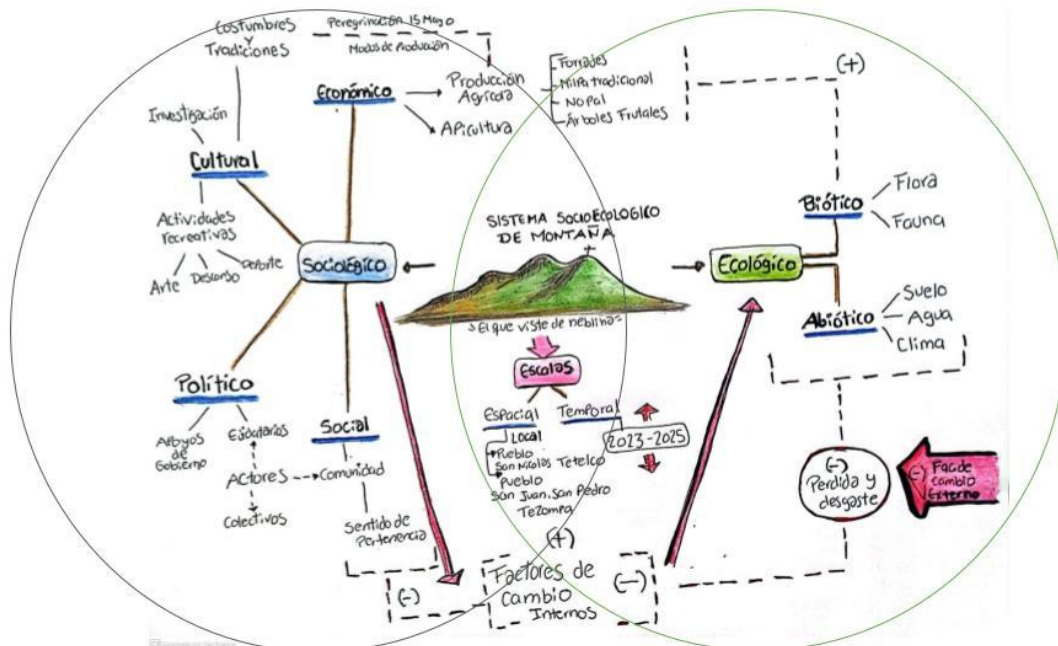


Figura 2. SSE de montaña “Volcán Ayaquémétl”. Fuente: Marín Jurado, 2024.

En la Figura 2 se distingue claramente dos grandes subsistemas: el ecológico que abarca lo biótico (lo que tiene vida) como la flora y la fauna y lo abiótico (lo que permite la vida) como el suelo, agua, clima y demás factores, lo cual, aunque el diseño no lo muestre claramente, también sostiene al subsistema social. En el subsistema social se encuentra lo económico, cultural, político y comunitario. Dentro de lo económico se consideran las principales actividades económicas de la montaña, tales como agricultura y apicultura, las cuales impulsan una relación positiva con la parte ecológica y cultural por las costumbres y tradiciones que se mantienen en las estrategias de producción. En cuanto a lo cultural se tomaron en cuenta, además de costumbres y tradiciones, las actividades recreativas como deporte, arte y descanso. En lo político, se reconocen los apoyos gubernamentales para la montaña y la organización ejidal. En la parte comunitaria, se incluyen los diferentes roles que puede tener la comunidad, cimentada en sentidos de pertenencia e identidad, en distintos ámbitos de interacción (iglesia, academia, colectivos, entre otros). Esto último se asocia a una retroalimentación positiva ya que contribuyen a conservar la parte ecológica ya degradada por diversos factores de cambio a lo largo de setenta años. También se pueden observar las escalas de análisis espacial (local) y temporal (2023-2025). Resalta que se reconoce la existencia de factores de cambio internos y externos que pueden modificar al sistema (Marín Jurado, 2024).

1.4 Marcos conceptuales para el análisis de sistemas socioecológicos

Dado que la relación entre los seres humanos y el medio ambiente es compleja, no puede entenderse ni gestionarse de manera efectiva sin un enfoque interdisciplinario, por lo que, se requieren marcos teóricos que permitan estudiar su complejidad y generar soluciones innovadoras (Biggs et al., 2022). Elegir un marco teórico para el estudio de los SSEs requiere reflexionar en: 1) ¿cómo se analiza el sistema social, el sistema natural y las interacciones entre ambos sistemas?; 2) ¿cómo se consideran las escalas, las interacciones y las dinámicas?; y 3) ¿qué enfoque predomina? ¿antropocéntrico o ecocéntrico? (Perevochtchikova, 2018). Existen diferentes aproximaciones ontológicas y epistemológicas para estudiar la relación sociedad – naturaleza, a continuación, se mencionan los más destacados, según Binder et al. (2013) y Perevochtchikova (2018).

1. **Fuerza-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (Driver, Pressure, State, Impact, Response, DPSIR).** Desarrollado por Carr et al. (2007) y Eurostat (1999), establece una cadena causal para analizar las interacciones entre el medio ambiente y la sociedad, a saber: Fuerza: Actividades humanas o eventos naturales que ejercen presión sobre el medio ambiente. Presión: El estrés que las fuerzas ejercen sobre el estado del medio ambiente. Estado: La condición del medio ambiente en un momento dado. Impacto: Los efectos de los cambios en el estado del medio ambiente en la sociedad y los ecosistemas. Respuesta: Las medidas tomadas por la sociedad para mitigar las presiones, mejorar el estado del medio ambiente o adaptarse a los impactos.
2. **Servicios ecosistémicos (Ecosystem Services, ES).** Propuesto por Daily (1997) y Groot et al. (2002), se centra en los beneficios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad. Los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro categorías, a saber: servicios de aprovisionamiento, tales como alimentos, agua, madera y fibra. Servicios de regulación, tales como la regulación del clima, la purificación del agua y el control de la erosión. Servicios culturales, como beneficios no materiales como la recreación, el turismo y el valor espiritual. Servicios de soporte como procesos ecológicos esenciales que sustentan los otros servicios, como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes.

El concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado en el marco del Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES por sus siglas en inglés). El IPBES es un organismo intergubernamental internacional que evalúa el estado de la biodiversidad y su contribución a las personas; su objetivo es que los tomadores de decisiones tengan información científica para incluir la conservación de la biodiversidad en las políticas públicas. A través del IPBES se ha definido que las **contribuciones de la naturaleza a las personas** son todos los beneficios que la humanidad obtiene de la naturaleza, incluyendo bienes y servicios ecosistémicos, considerados por separado o en conjunto. Los aspectos de la naturaleza que pueden ser negativos para las personas (perjudiciales), como plagas, patógenos o depredadores, también se incluyen en esta amplia categoría. De tal forma, se asume que los servicios ecosistémicos con los beneficios tangibles e intangibles que las personas recibimos de la naturaleza (Diaz et al., 2019).

3. **Análisis de sistemas de la Tierra (Earth Systems Analysis, ESA).** Desarrollado por Schellnhuber (1999) y Schellnhuber et al. (2005), adopta una perspectiva holística del planeta Tierra como un sistema complejo e interconectado. Se centra en la identificación de los procesos biofísicos y socioeconómicos que regulan el funcionamiento del sistema Tierra y en la evaluación de la resiliencia del planeta frente a las perturbaciones globales.
4. **Sistema humano-ambiental (Human Environment Systems Framework, HES).** Propuesto por Scholz & Binder (2003 y 2004) este marco examina las interacciones bidireccionales entre los sistemas humanos y ambientales. Se centra en la coevolución de los sistemas sociales y ecológicos, reconociendo que los humanos no solo son agentes de cambio ambiental, sino que también son moldeados por el entorno en el que viven.
5. **Análisis de flujo de materia y energía (Material and Energy Flow Analysis, MEFA).** Desarrollado por Brunner & Rechberger (2005), se centra en el análisis de los flujos de materia y energía a través de los SSEs. Permite rastrear el movimiento de recursos como el agua, los nutrientes y la energía a través de los componentes del sistema, identificando puntos críticos y posibles impactos ambientales.
6. **Marco de manejo y transición (Management and Transition Framework, MTF).** Propuesto por Pahl-Wostl et al. (2010); Pahl-Wostl & Kranz (2010), se centra en la gestión adaptativa de los SSEs en contextos de cambio. Enfatiza la importancia de la participación de las partes interesadas, el aprendizaje social y la construcción de resiliencia para hacer transiciones hacia la sostenibilidad.
7. **Socio-ecosistemas (Social-Ecological Systems, SSEs).** Desarrollado por Ostrom (2007 y 2009), se centra en la gobernanza de los recursos comunes en los SSEs. Examina las instituciones, normas y prácticas que las comunidades desarrollan para gestionar los recursos compartidos, como bosques, pesquerías y sistemas de riego, de manera sostenible.
8. **Medios de vida sustentable (Sustainable Livelihood Approach, SLA).** Propuesto por Chambers & Conway, (1992) y Ellis (2000), este marco se centra en las interacciones que tiene los hogares con su entorno natural y social denominados capitales, así como el contexto de vulnerabilidad en el que se encuentran y políticas públicas. Examina las

estrategias que los hogares tienen para sobrevivir determinada por los elementos antes citados.

9. **Marco de vulnerabilidad (Vulnerability Framework, TVUL).** Desarrollado por Folke (2006) y Turner et al. (2003), se centra en la capacidad de los SSEs para hacer frente a las perturbaciones y el cambio. Analiza la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa de los sistemas a las amenazas, como el cambio climático, la degradación ambiental y los desastres naturales.

Cada marco o disciplina ve la realidad de manera distinta y la interpreta de manera diferente, sin embargo, son complementarios. Los marcos con mayor impacto en las decisiones de política pública son los de ES-IPBES, SSEs, DPSIR y SLA (MVS por sus siglas en español) que están enmarcados en una visión antropocéntrica basada en la interdependencia de la sociedad y los recursos naturales. Dependiendo del enfoque que se utilice, la interpretación de la estructura e interacciones del sistema será diferente, no obstante, todos los marcos tratan de explicar la complejidad de la realidad.

1.4.1 Estudio de caso en Los Ranchitos.

Utilizando el marco de Medios de Vida Sustentables (MVS), a continuación, se muestran dos casos de estudio que lo ocupan para el análisis de SSEs. El primer de ellos se refiere a un sistema ubicado en el Ejido Los Ranchitos (LR), Jalisco (Figura 3). Este sistema abarca el bosque tropical seco como ecosistema natural principal; las personas que habitan esta comunidad se dedican principalmente a la agricultura y ganadería, y en menor medida, a la extracción de vara. En consecuencia, aproximadamente el 30% del ecosistema original ha sido desmontado para utilizarlas en zonas agrícolas o de pastizales (Cohen Salgado, 2014). Dada la falta de disponibilidad de agua a lo largo del año, las actividades productivas se llevan a cabo conforme a las temporadas de secas y lluvias (Cohen Salgado, 2024). La frecuencia e intensidad de huracanes en esta región han aumentado; estos eventos representan una amenaza para los medios de vida de las personas, pues afectan negativamente el equilibrio ecológico endeble de los ecosistemas (modificados y “conservados”) y el bienestar de los habitantes del ejido (Gavito et al., 2014). Algunos efectos de estos eventos son incremento de actividad jornalera, migración, ruptura de redes sociales, daños en la infraestructura, y pérdida de capital financiero, entre muchos otros (Cohen Salgado, 2024; Cohen-Salgado et al., 2021).

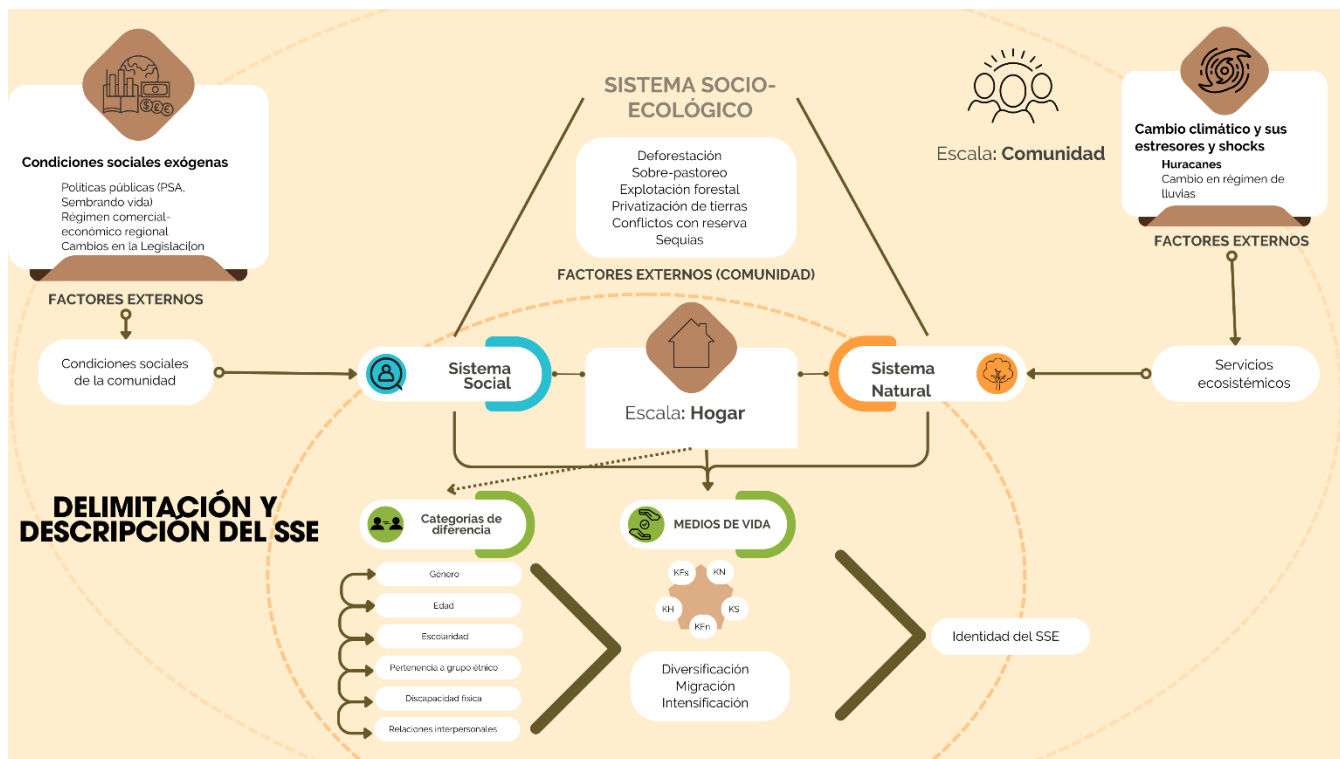


Figura 3. Sistema socioecológico en el Ejido Los Ranchitos, Jalisco, México. Fuente: Cohen Salgado, 2024.

Usando el marco de MVS, el sistema ilustrado en la Figura 3 muestra que cada hogar utiliza diferentes capitales que confluyen en medios de vida específicos (ej. diversificación, migración, intensificación). En los medios de vida interactúan los elementos del subsistema natural y del subsistema social. En el primero se engloban los servicios ecosistémicos que provee el bosque tropical seco, los pastizales, los sistemas agroforestales o agrosilvopastoriles. En el segundo, se incluyen actores sociales de la comunidad y sus interacciones. Al mismo tiempo, quienes integran los hogares están sujetos a diferentes condicionantes, como género, edad, escolaridad, pertenencia a grupo étnico, discapacidad, etc. A escala comunitaria (del ejido), se encuentran algunos factores externos que inciden a nivel hogar como la deforestación, el sobrepastoreo y los conflictos con una reserva de la biósfera. Sobre factores externos ocurriendo en otras escalas se encuentran para el subsistema social: la implementación de nuevos programas de gobierno, cambios en el régimen comercial-económico regional y cambios en la regulación. En cuanto a factores externos asociados con el subsistema natural, se pueden identificar estresores y shocks asociados con cambio climático, como los huracanes,

y cambios en el régimen de lluvias. Las estrategias o medios de vida reflejan la forma en que el sistema social y el ecológico confluyen e interactúan a través de actividades que las familias rurales desarrollan, y que se asocia con la identidad principal del sistema. Las interacciones relevantes son: 1) las múltiples categorías de diferencia y su intersección; 2) la incidencia de esas intersecciones en posibles estrategias de vida de los hogares; y 3) el impacto de factores externos (en este caso, de huracanes) en los medios de vida y las estrategias de respuesta que tienen los hogares ante estos eventos (Cohen Salgado, 2024).

1.4.2 Estudio de caso en Galacia.

El segundo caso de estudio es el del SSE de los hogares del ejido Galacia (Figura 4). En el municipio de Marqués de Comillas ubicado en el corazón de la Selva Lacandona en Chiapas, México, se encuentra el Nuevo Centro de Población Ejidal Galacia (referido en adelante como Galacia) donde el 80% de la población se encuentra en situación de pobreza (moderada y extrema) con un índice de marginación muy alto (Consejo Nacional de Población, 2012). Desde su colonización en 1975, ha presentado un intenso cambio de uso de suelo con la finalidad de establecer actividades agropecuarias, las cuales son la fuente principal de sustento de los pobladores del ejido. Esto ha provocado la degradación del suelo y, sumado a las fuertes inundaciones ocurridas en noviembre del 2020 acrecentadas por los huracanes Eta e Iota, ha incrementado la vulnerabilidad de los medios de vida de los habitantes de Galacia (Flores Pardo, 2024).

Socioecosistema del Ejido Galacia, Marqués de Comillas (Chiapas)

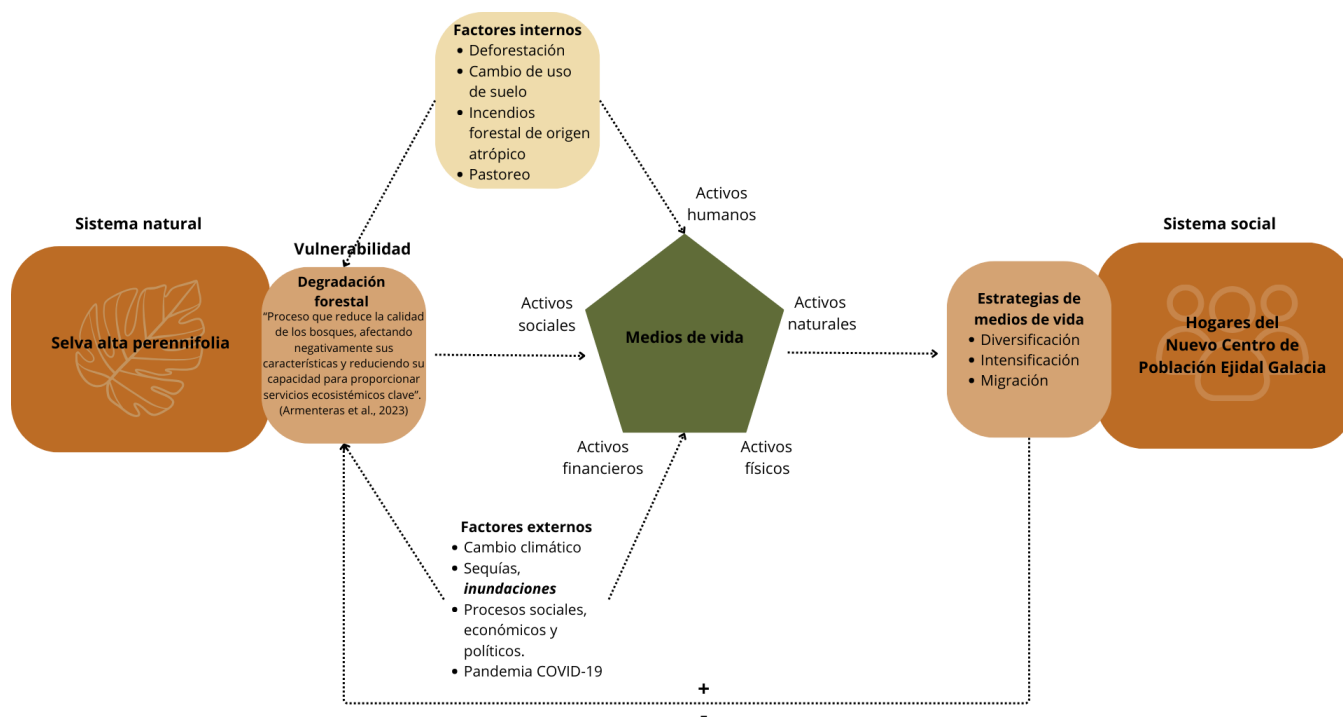


Figura 4. Sistema socioecosistémico (SSE) de los hogares del ejido Galacia, municipio de Marqués de Comillas, Chiapas, México. Fuente: Flores Pardo, 2024.

En la Figura 4, el subsistema social se observa a través de los impactos de los estresores y shocks internos y externos en los capitales de los medios de vida y el subsistema natural corresponde a las hectáreas de selva tropical disponibles para el hogar. Los actores clave se consideran los jefes/jefas de familia. En el caso de Galacia, la principal causa de degradación identificada es la deforestación y cambio de uso de suelo para implementar sistemas agropecuarios. Sin embargo, hacen falta estudios que identifiquen con mayor detalle factores indirectos relacionados con la interacción de los procesos sociales, políticos y económicos. Las interacciones serán analizadas utilizando el marco de Medios de Vida, con el cuál se podrán definir las estrategias seleccionadas por los jefes/jefas de familia para contrarrestar los disturbios y evaluar la resiliencia de los hogares en el ejido Galacia (Flores Pardo, 2024).

Actividad 1. Delimitación de un Sistema Socioecológico

Objetivo. *Practicar la delimitación teórica de un sistema socioecológico (SSE) para su análisis, identificando sus componentes clave y sus interacciones.*

Materiales

1. Papel y lápiz o una herramienta digital para crear diagramas.
2. Información sobre un caso de estudio de un SSE.

Instrucciones

1. Seleccionar un caso de estudio. Elige un SSE de interés.
2. Identifica los subsistemas. Haz una lista de los subsistemas clave del sistema, tanto sociales como ecológicos. Considera los siguientes aspectos:
 - **Componentes sociales:** Actores, instituciones, normas sociales, economía, cultura, etc.
 - **Componentes ecológicos:** Ecosistemas, especies, recursos naturales, flujos de materia y energía, etc.
3. Definir los límites. Establece los límites del sistema que vas a analizar. Considera las siguientes preguntas:
 - ¿Cuál es el área geográfica que abarca el sistema?
 - ¿Qué periodo de tiempo se va a considerar?
 - ¿Qué interacciones con otros sistemas externos son relevantes?
4. Representar las interacciones. Dibuja un diagrama que represente los componentes del sistema y las interacciones entre ellos. Utiliza flechas para indicar la dirección de las interacciones y considera los siguientes tipos de interacciones:
 - Interacciones entre componentes sociales.
 - Interacciones entre componentes ecológicos.
 - Interacciones entre componentes sociales y ecológicos.
5. Analizar el diagrama. Responde a las siguientes preguntas:
 - ¿Cuáles son los componentes más importantes del sistema?
 - ¿Qué interacciones son más relevantes para la resiliencia del sistema?
 - ¿Qué factores externos podrían influir en el sistema?

- ¿Qué preguntas de investigación podrían formularse sobre este sistema?
6. Recomendaciones. Se creativo al diseñar su diagrama. Utiliza diferentes colores y formas para representar los componentes. Incluye etiquetas claras y concisas.

Ejemplo:

Imaginemos un sistema socioecológico de una comunidad costera que depende de la pesca.

Componentes sociales: Pescadores, familias, cooperativa pesquera, gobierno local, turistas, mercado de pescado.

Componentes ecológicos: Ecosistema marino, especies de peces, calidad del agua, corrientes marinas.

Límites: La zona costera donde se realiza la pesca, el periodo de tiempo de un año.

Interacciones: Los pescadores extraen peces del ecosistema marino, la cooperativa pesquera regula las actividades de pesca, el gobierno local establece políticas de manejo pesquero, los turistas demandan pescado, el mercado de pescado comercializa el producto, la calidad del agua y las corrientes marinas afectan la disponibilidad de peces.

2. ¿QUÉ ES LA RESILIENCIA DE SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS?

Una definición clásica de la resiliencia en sistemas socioecológicos fue propuesta por Walker et al. (2004), a saber: “la resiliencia es la capacidad del sistema de absorber disturbios y reorganizarse mientras experimenta cambios, manteniendo su función esencial, estructura, identidad y retroalimentación”. Aunque se han escrito otras definiciones de resiliencia socioecológica, en este documento se rescata la definición de Folke (2006:7) que señala que la resiliencia no se trata simplemente de la resistencia al cambio y la conservación de las estructuras existentes o incluso de la capacidad de amortiguación y la persistencia al cambio manteniendo la misma función, sino que se considera como una propiedad emergente. Así, la resiliencia es resultado de la combinación de tres capacidades: de absorción, de adaptación y de transformación. De acuerdo con Béné et al. (2016), estas capacidades responden a las diferentes intensidades del cambio; en el caso de la capacidad de absorción, cuanto menor sea la intensidad del disturbio, más probable será que el sistema puedan resistir eficazmente, absorbiendo los impactos del disturbio sin cambiar su función o estado. Así, la capacidad de absorción surge esencialmente de las diversas estrategias de afrontamiento mediante las cuales el sistema es capaz de moderar o amortiguar los impactos de los disturbios en un corto plazo.

Como complemento a la capacidad de absorción, el sistema puede ejecutar su capacidad de adaptación que se refiere a los diversos cambios y adaptaciones incrementales que experimenta el sistema para seguir funcionando en respuesta a una crisis o a un estrés creciente, sin realizar grandes cambios cualitativos en su forma de actuar (Béné et al., 2016). Es decir, la capacidad de adaptación es la capacidad de aprender, combinar experiencia y conocimiento, ajustar las respuestas a los impulsores externos y procesos internos cambiantes y continuar operando (Berkes et al., 2003:13).

Si los cambios necesarios para responder a las perturbaciones o las tensiones son tan grandes o frecuentes que superan tanto la capacidad de absorción como la capacidad de adaptación del sistema, será necesario aplicar algún tipo de respuesta transformadora. Las respuestas son transformadoras porque apuntan a alterar de manera permanente y drástica el funcionamiento del sistema o su estructura como una forma de asegurar la “supervivencia” inmediata del sistema (Béné et al., 2016). Entonces, la capacidad transformadora que se refiere a la

capacidad de crear un sistema fundamentalmente nuevo cuando las estructuras ecológicas, económicas o sociales hacen que el sistema existente sea insostenible (Walker et al., 2004:5).

De la exposición anterior se desprende que la resiliencia socioecológica va más allá de la simple estabilidad o persistencia, es entendida como una capacidad y no como un resultado. En otras palabras, la resiliencia es resultado de la habilidad de las personas para tomar decisiones que tienen consecuencias positivas o negativas, es una habilidad activa para desarrollar e implementar estrategias y respuestas en un intento de modificar las condiciones de vulnerabilidad. En cambio, la vulnerabilidad es vista como una condición pasiva que resulta de la sensibilidad y exposición de las personas a disturbios y su falta de capacidad para prevenirlas (Béné et al., 2016).

Así, la resiliencia socioecológica reconoce que los sistemas humanos y naturales están interconectados y que la resiliencia depende de la capacidad de ambos para adaptarse y transformarse conjuntamente. Esta es su principal diferencia respecto al concepto de resiliencia ecológica que nació en esa disciplina en 1970. Inicialmente, desde una perspectiva ingenieril, se creía que un sistema tiene un equilibrio inicial y que hay una resistencia natural a las perturbaciones; en cuanto se da una perturbación, la resiliencia se define como el tiempo de recuperación para regresar al equilibrio original (Perrings, 1998). Sin embargo, se observó que en los ecosistemas no siempre regresan al mismo estado, sino que transitan a diversos *estados de equilibrio*, por lo que no se puede hablar de recuperación sino de un ciclo en que los ecosistemas se desarrollan buscando puntos de equilibrio y atractores a estos. De esto se desprende una definición diferente de resiliencia, donde ésta es la magnitud de la perturbación que el sistema es capaz de absorber antes de cambiar a otro estado. Esta definición se ve reflejada en el ciclo adaptativo de Holling que atraviesa por cuatro estados de sucesión antes de llegar a una transformación completa (Cumming & Collier, 2005; Holling, 2001).

El ciclo adaptativo consta de cuatro fases: crecimiento o explotación (r), conservación (k), colapso (Ω) y reorganización (α). Refleja las interacciones entre crecimiento y acumulación y entre novedad y renovación, proporcionando información sobre los procesos de persistencia y transformación en la dinámica de los SSE (Holling, 2001). El ciclo adaptativo es flexible, lo que permite la incorporación de impulsores internos y externos de diferente naturaleza u origen (Antoni et al., 2019) y proporciona información sobre la conectividad dinámica a lo largo del

tiempo, ya que analiza cómo evolucionan los sistemas incorporando procesos de destrucción y reorganización (Sundstrom & Allen, 2019). Así, el ciclo adaptativo ha sido utilizado como punto de referencia teórico para identificar la transición y la transformación de un SSE y el papel que juega la capacidad adaptativa relacionada con estos dos aspectos, como en los estudios de Merlo-Galeazzi et al. (2024) y Ramírez-León et al. (2023) donde se utilizó el ciclo adaptativo para el análisis de la trayectoria histórica de un SSE. En estos estudios (Figuras 5 y 6) se encontró que las fases de sucesión del ciclo adaptativo pueden ser diferentes debido a la temporalidad e intensidad de los efectos de diferentes estresores y shocks en un sistema, como se puede ver en la Figura 5.

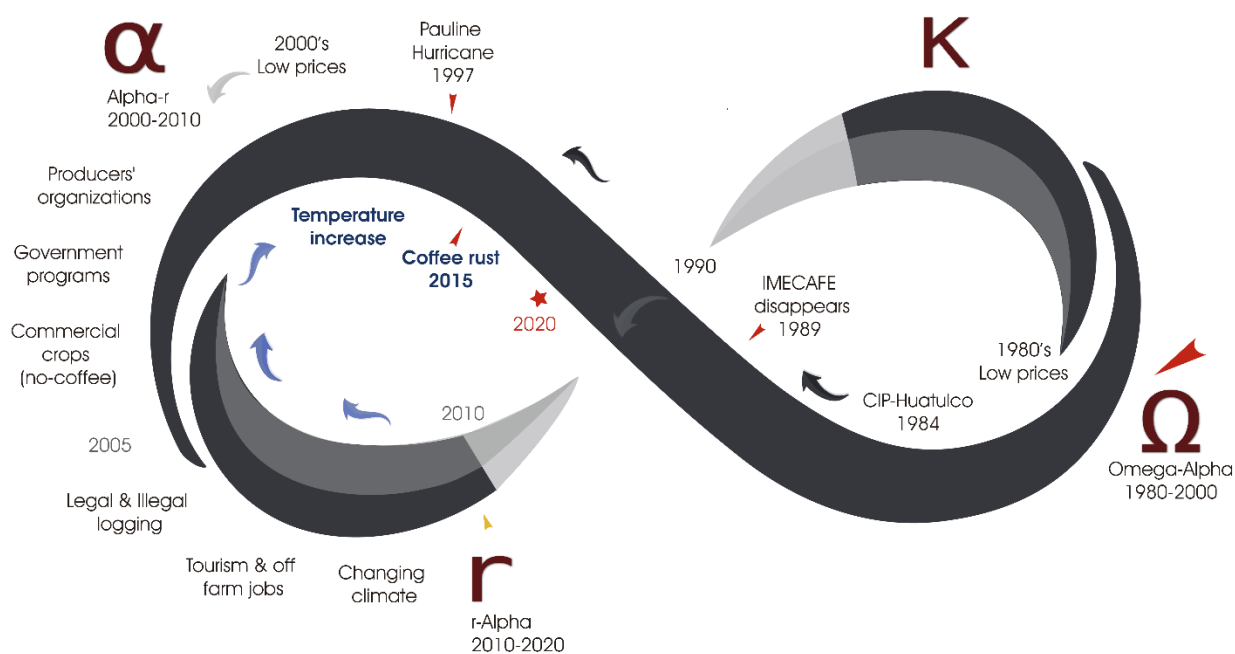


Figura 5. Trayectoria del SSE Copalita-Huatulco con base en el Ciclo Adaptativo: 1980-2020. Fuente: Ramírez-León et al., 2023.

La flecha roja grande marca el inicio del ciclo en la década de 1980 y la estrella roja marca su fin en 2020. Las flechas rojas indican los shocks que han afectado al sistema socioecológico agroalimentario de café en la cuenca Copalita, Oaxaca, México. Los bajos precios del café se han mantenido constantes durante el periodo de 40 años. En la década de 2000, los estresores se acumularon por los efectos generados en años previos. En 2010, el ciclo continuó hacia una fase de recuperación que se interrumpió y provocó su reversión; este retroceso se indica con la flecha amarilla.

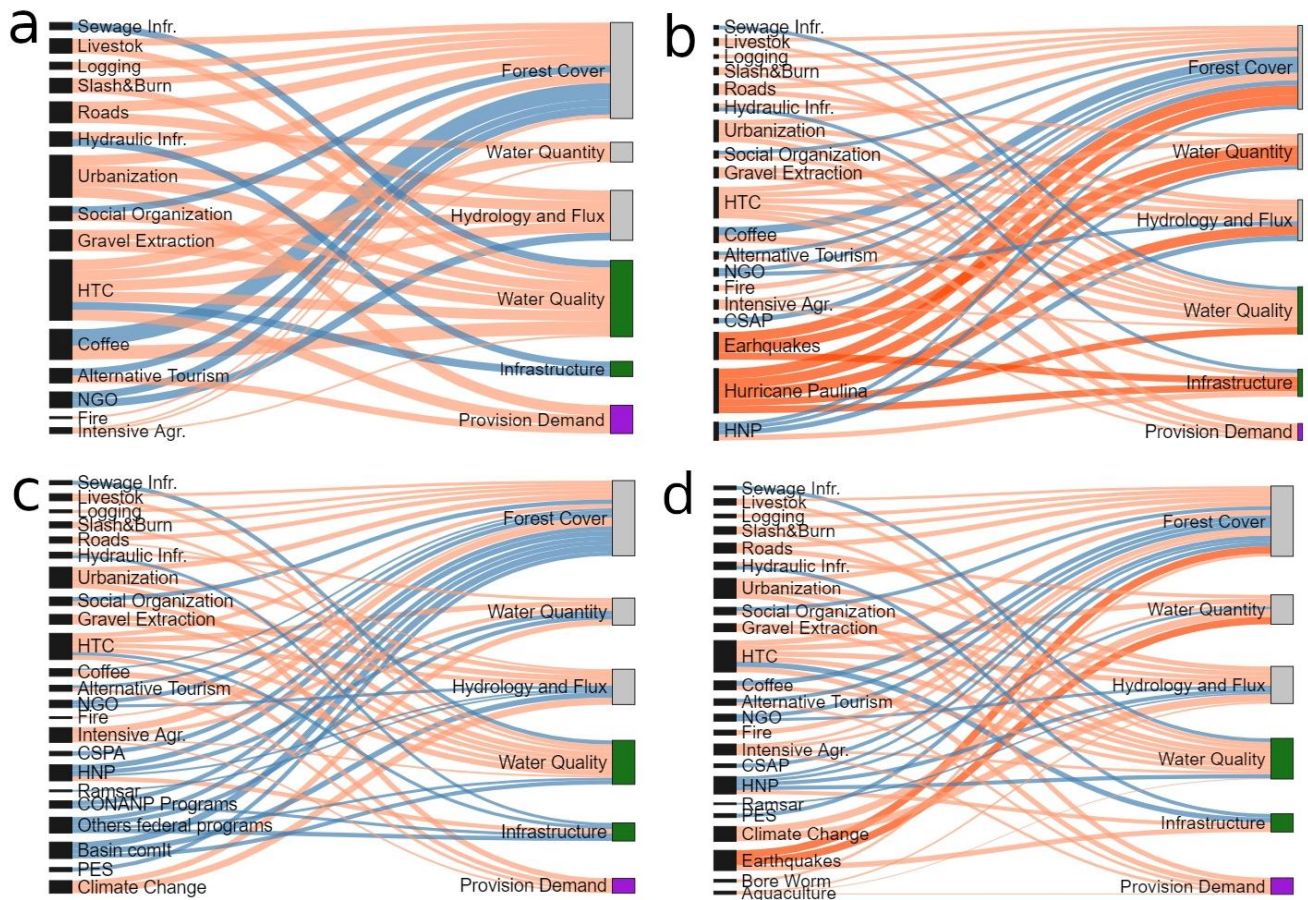


Figura 6. Impacto de drivers de cambio en el SSE de las cuencas Copalita-Huatulco, Oaxaca, México y cada componente del SSE para las fases del Ciclo Adaptativo: fase r 1980-1996 (a), Ω 1997-2000 (b), k 2001-2014 (c) y α 2015-2020 (d). Fuente: Merlo-Galeazzi et al., 2024

Los factores impulsores (en negro) impactan los subsistemas y componentes ecológicos del SES (en gris) y los subcomponentes sociales: acceso a infraestructura (en verde) y demanda (en morado). El grosor de la línea está relacionado con el valor del TDI (Total Driver Impact) de los shocks identificados (en naranja), los estresores (en naranja claro) y la retroalimentación (en azul). Siglas: pago por servicios ecosistémicos (PSE), Centro Turístico de Huatulco (HTC), Parque Nacional Huatulco (HNP), sistemas comunitarios para áreas naturales protegidas (CSAP), programas de organizaciones no gubernamentales (NGO).

La Figura 6 es una representación estilizada de las cuatro funciones del ecosistema (r, K, Ω , a) y el flujo de eventos entre ellas. Las flechas muestran la velocidad del flujo en el ciclo. Las flechas cortas y poco espaciadas indican una situación que cambia lentamente; las flechas largas indican una situación que cambia rápidamente. El ciclo refleja cambios en dos propiedades: el eje y (el potencial inherente a los recursos acumulados de biomasa y nutrientes)

y el eje x (el grado de conexión entre las variables de control). La salida del ciclo indicada a la izquierda de la figura sugiere, de manera estilizada, la etapa en la que el potencial puede escaparse y donde es más probable que se produzca un cambio hacia un sistema menos productivo y organizado (Holling, 2001).

2.1 Conceptos clave para medir la resiliencia socioecológica

La resiliencia socioecológica reconoce la incertidumbre que produce el cambio constante en los SSEs. Comprender ese cambio implica definir y reconocer sus causas y origen, es decir los *factores de cambio* (en inglés, denominados drivers) y cómo estos afectan a los componentes del sistema, así como la velocidad de cambio infligido en él. Los factores de cambio se pueden dividir en estresores cuando son prolongados en el tiempo o shocks cuando son abruptos. Pueden ser internos o externos al sistema. La resiliencia implica, entonces, conocer y describir un cambio, o, en otras palabras, saber qué es lo que cambió en un SSE y qué provocó ese cambio. Para ello, es necesario identificar el conjunto de variables sociales y ecológicas (estructura e interacciones del sistema) que pueden fluctuar y crear retroalimentaciones que estabilizan al sistema y lo mantienen en una situación particular, lo que se denomina *estado del sistema* (Resilience Alliance, 2010). Un SSE puede mantener el mismo estado ya que preserva su estructura, función e identidad principales, que residen en la presencia continua tanto en el espacio como en el tiempo, de sus componentes y sus interacciones clave sin cruzar un umbral (Cumming & Collier, 2005).

Los umbrales entre los estados del sistema advierten sobre cambios inminentes, así como oportunidades para prevenir cambios indeseables en este; una vez que los umbrales se han cruzado ya no hay forma de volver a un estado anterior, lo que implica que el sistema ha perdido su resiliencia (Folke et al., 2010). Sin embargo, esto no significa que el estado anterior sea mejor (Ávila Foucat et al., 2020; Resilience Alliance, 2010). Los SSEs ajustan sus respuestas y desarrollan un camino o trayecto que puede estar dentro de un *dominio de estabilidad* que les permite mantenerse en un mismo estado o pasar a otro. Ese camino o trayecto es definido como *trayectoria* y es la dirección que toma un sistema y su patrón de cambio a lo largo del tiempo; esta dirección es resultado de las interacciones históricas entre los componentes del sistema y los efectos acumulados de los factores de cambio (Bagchi et al., 1988; Duru et al., 2015; Resilience Alliance, 2010). Un sistema está en transición cuando cruza entre dos estados y está

en transformación cuando ha cruzado un umbral (Folke et al., 2010; Resilience Alliance, 2010). El estudio de la resiliencia socioecológica implica, entonces, comprender cómo un SSE evoluciona sin perder los rasgos esenciales que lo caracterizan.

La Tabla 1 muestra los conceptos clave que son vitales para entender el ámbito de estudio de la resiliencia socioecológica.

Tabla 1. Conceptos clave para entender la resiliencia socioecológica

Concepto	Definición
Perturbación (shock en inglés, parte de los factores de cambio)	Se define como un acontecimiento agudo a corto plazo con un inicio rápido y una duración típicamente corta (Sagara, 2018).
Estresor (factor de cambio)	Tienen un inicio lento y una duración típicamente prolongada (Sagara, 2018).
Estructura	Subsistemas y variables que controlan el comportamiento del sistema.
Función	Se refiere a cómo el sistema realiza una tarea o cumple una necesidad (Walker et al. 2004)
Retroalimentación	Conexión de las variables que se refuerzan mutuamente.
Identidad	Es el resultado de la suma entre estructura, función y retroalimentación.
Absorción del disturbio	Cantidad de disturbio que un sistema puede absorber sin cambiar a un estado diferente.
Autoorganización	Ajustarse a través de las interacciones entre componentes.
Estabilidad	Se refiere a la capacidad de un sistema para volver a su estado de equilibrio después de una perturbación.
Capacidad adaptativa	Habilidad de los individuos en un SSE de influenciar la resiliencia, de evadir los umbrales, o diseñar un cruce de regreso a un régimen deseado o mover los umbrales para crear una mayor área operacional de espacio.
Transformabilidad	Capacidad de crear un sistema nuevo (diferente) cuando las condiciones económicas, políticas, ecológicas, sociales son intolerables.

Umbrales	Límites del sistema después de los cuales las funciones del sistema cambian, si se cruza se pasa a otro régimen, el sistema se comporta de otra manera y tiene otra identidad.
-----------------	--

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta un estudio de caso para ejemplificar el estudio de la trayectoria histórica de un sistema socioecológico.

2.1.1 Estudio de caso de las dunas costeras en Sisal

La localidad de Sisal se ubica en el municipio de Hunucmá en Yucatán, México, sobre una isla de barrera que colinda con la Reserva Estatal “El Palmar” y con la Reserva Estatal “Ciénegas y Manglares de la costa norte de Yucatán” (Figura 7). Por sus características geográficas, existe el riesgo de inundación ante huracanes (Meza Osorio, 2022). El subsistema natural abarca la vegetación de dunas, por lo que los tipos de actores clave se eligieron tomando en cuenta que las actividades que realizan tuvieran incidencia directa sobre este tipo de vegetación. La expansión urbana y el crecimiento poblacional han traído cambios en la dinámica y funcionalidad ecológica de las dunas costeras; ya que el desarrollo de infraestructura hotelera sobre dunas, así como actividades económicas portuarias y agropecuarias sin prácticas de conservación y restauración en estos ambientes, provocan una serie de problemas como compactación de la arena y erosión de suelo, pérdida de biodiversidad, fragmentación de hábitats, disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos, entre otros (Mendoza-González et al., 2012, 2022; Orozco Miranda, 2024). Estos ambientes son susceptibles ante fenómenos naturales como huracanes, tormentas tropicales, ciclones, inundaciones, así como a efectos del cambio climático como el incremento en el nivel del mar y el aumento de la temperatura (Martínez, 2009; Orozco Miranda, 2024).

La Figura 7 muestra la representación visual de este SSE y describe a los actores clave en el sistema y sus interacciones, así como la direccionalidad. Se tomaron en cuenta factores externos (como el turismo, el incremento de urbano, el cambio climático y la designación de pueblo mágico), e internos (como el desinterés en el cuidado y conservación de las dunas, prácticas inadecuadas en palapas y playas, ruptura en el tejido social), que juegan un papel

importante en la dinámica que desarrollan los actores involucrados dentro del sistema (Orozco Miranda, 2024).

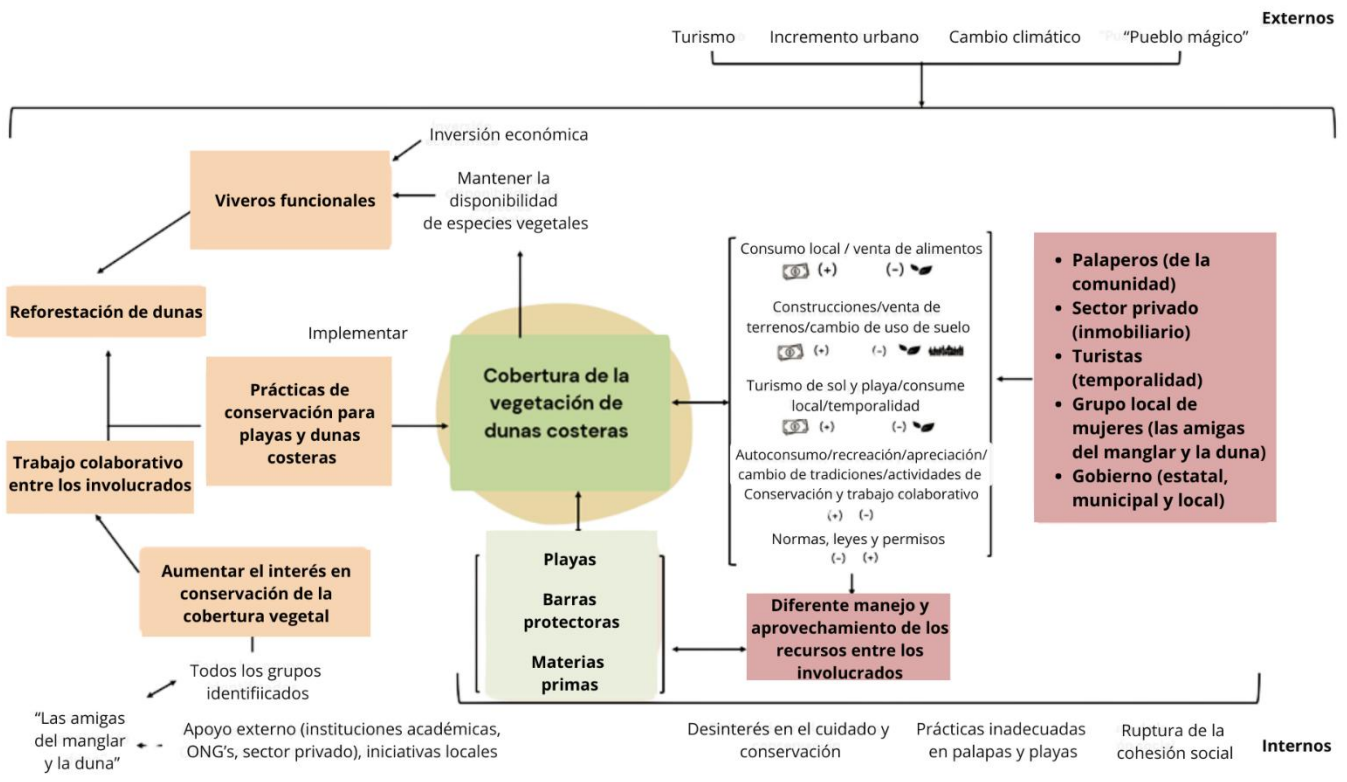


Figura 7. Descripción del sistema socioecológico de Sisal con enfoque en el estudio de las dunas costeras y el impacto del turismo en ellas. Fuente: Orozco Miranda, 2024.

Por otro lado, la Tabla 2 muestra la trayectoria del SSE de Sisal.

Tabla 2. Trayectoria del SSE de Sisal, Identificación de estresores o shocks.

Estresor/ shocks	Efectos	Externo o Interno	Tipo de estresor o shock
Shock: Huracán Gilberto 1988	• Efecto natural que causó daños y pérdidas a los pobladores de la comunidad de Sisal. • Para los pobladores marcó un antes y un después, ya que pudieron desarrollar estrategias de prevención ante este tipo de fenómenos naturales.	Externo	Social-ambiental-económico-cultural
Estresor: Celebración del Cristo negro; celebrada cada año en agosto (último domingo).	• Aumento en el número de visitantes en la playa. • Tráfico y obstrucción en las carreteras que llegan a Sisal. • Actividades de recreación en la playa. • Consumo de comida y productos locales.	Interno	Social-cultural-económico
Estresor: Festival de la veda del mero Desde 2019	• Consumo de productos locales. • Número de visitantes rebasa la capacidad de servicios básicos que la comunidad puede ofrecer. • Actividades de recreación en la playa.	Externo	Social-económico
Estresor: Designación de "Pueblo Mágico" Diciembre 2020	• Conflicto entre los pobladores por miedo a ser desplazados; encarecimiento de los servicios públicos; precarización laboral; aumento en la inseguridad; afectaciones al ecosistema y sus recursos naturales. • Cambio de las principales actividades (actividades de pesca ahora son reemplazadas por actividades turísticas). • Cambio de uso de suelo.	Externo	Social (con gran impactando en los diferentes sectores)
Estresor: El Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018-2024	Impulso al sector turístico bajo el aumento de valor de los productos y servicios turísticos con enfoque de sostenibilidad y el incremento de la estadía turística en Yucatán, con Mérida como macrocentro turístico.	Externo	Social-político-ambiental
Estresor: Sector turístico (actividades; visitantes e inmobiliario) Constante en años anteriores, pero en aumento después del 2020	Diferentes tipos de turismo, donde realizan actividades en la comunidad de Sisal, cada tipo de turismo tiene diferente temporalidad durante todo el año. Además de realizar diferentes actividades y por lo tanto hacen un uso distinto de los recursos naturales. Entre los impactos o efectos que tienen en el medio ambiente son:	Externo	Social-económico-ambiental-cultural

	• Aumento en la inversión en el sector inmobiliario • Venta de terrenos con frente de playa • Concesiones no reguladas		
Estresor: Construcción e instalación de palapas en gran parte de la línea de playa En aumento después del 2020	• Cambio de uso de suelo. • Erosión de playas. • Remoción y pérdida de la vegetación nativa de duna. • Prácticas inadecuadas en las palapas. • Aumento de residuos en playa y dunas que llegan directo al mar. • Dunas costeras terminan siendo usadas como sanitarios (al no contar con las instalaciones y servicios básicos para ofrecer a los visitantes) • Problemáticas entre las personas locales dueñas de palapas.	Interno	Social-económico-ambiental-cultural
Estresor: Aumento de la población y expansión urbana En aumento después del 2020	• Aumento de los residuos y poca capacidad para su manejo. • Desplazamiento de las personas locales. • Aumento en la turistificación.	Externo	Social-cultural-político-ambiental-económico

Fuente: Orozco Miranda, 2024.

2.1.2 La metáfora de la resiliencia en la “cuenca de atracción”.

Esta metáfora fue propuesta por Walker et al. (2004) y es una forma de visualizar la resiliencia de un SSE (Figura 8). Imaginemos una pelota en un tazón, la pelota representa el estado actual de un SSE y el tazón representa el conjunto de posibles estados en los que el sistema puede mantenerse con la misma estructura y función. Si el sistema se perturba, la pelota se mueve dentro del tazón. En cambio, si el sistema es resiliente, la pelota vuelve al fondo del tazón, que representa un estado de equilibrio. Sin embargo, si el sistema no es resiliente, la pelota puede salir del tazón y caer en un tazón diferente, lo que representa un cambio a un estado no deseado (o esperado) del que puede ser difícil o imposible regresar. Cuanto más cerca esté la pelota del borde del tazón, menos resiliente será el sistema y mayor será el riesgo de que una perturbación lo empuje a un estado no deseado. Esta metáfora ayuda a comprender cómo los SSEs pueden cambiar y cómo el estudio de la resiliencia es crucial para proponer estrategias sobre cómo mantener las funciones y estructura de un sistema frente a las perturbaciones, y reflexionar si

esa estructura y funciones son deseables o no. La Figura 8 ilustra la metáfora de la cuenca de atracción propuesta por Walker et al. (2004).

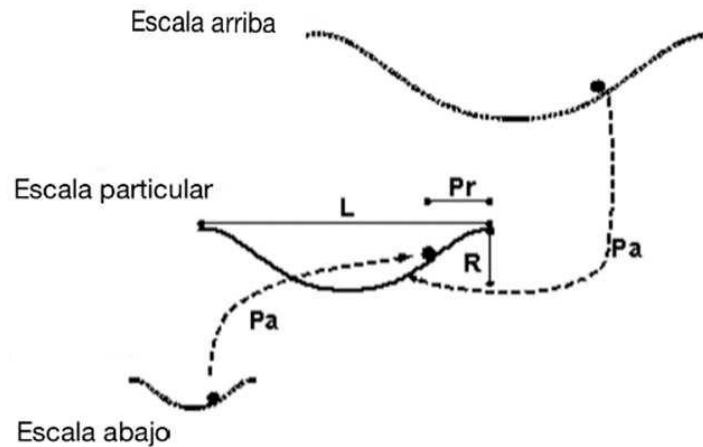


Figura 8. Metáfora de la cuenca de atracción. Fuente: Walker et al., 2004.

Se representa una pelota en un paisaje de estabilidad y la cuenca de atracción representa la resiliencia. **L** se refiere a qué tanto puede cambiar un sistema antes de perder su habilidad de recuperarse. **R** representa la facilidad o dificultad de que cambie el sistema, es la fuerza que se requiere para cambiar al sistema. **Pr** representa la cercanía del sistema al umbral y **Pa** es la interacción entre escalas.

2.2. Atributos de resiliencia.

Los atributos de resiliencia son un conjunto de características de los SSEs propuestos por el Centro de Resiliencia de Estocolmo (Biggs et al., 2012) que buscan fortalecer la capacidad de los SSEs para mantener los servicios ecosistémicos y enfrentar perturbaciones y cambios. Estos atributos también se consideran como propiedades medibles del sistema que se pueden utilizar para evaluar la resiliencia a lo largo del tiempo (Kerner & Thomas, 2014; Meuwissen et al., 2019; Van Der Lee et al., 2022). La Tabla 3 muestra la definición de cada atributo con ejemplos para una mejor comprensión.

Tabla 3. Atributos de resiliencia, definición y ejemplos

Principio	Definición	Ejemplo subsistema natural	Ejemplo subsistema social
Mantener la diversidad y la redundancia	Tener una variedad de elementos en un sistema, como una variedad de especies, genes o estrategias de medios de vida.	En bosques de Uganda, la dispersión de semillas es realizada por mamíferos que van desde ratones hasta chimpancés. Si una perturbación afecta a los mamíferos más pequeños, los más grandes aún pueden realizar la función de dispersión de semillas	Las diversas formas de organización con funciones superpuestas permiten una diversidad de respuestas para mantener los servicios de los ecosistemas frente a la agitación económica o política.
Gestionar la conectividad	Gestionar cómo y en qué medida los recursos, las especies o los actores sociales se dispersan, migran o interactúan entre sí.	La recolonización de los arrecifes de coral tras una perturbación está relacionada con el grado de conectividad entre los parches restantes	Una gran conectividad entre los distintos grupos sociales aumenta el intercambio de información y desarrolla la confianza y la reciprocidad necesarias para la acción colectiva
Gestionar las variables lentas y las retroalimentaciones	Gestionar las variables que cambian lentamente en el tiempo, como la composición del suelo o los sistemas jurídicos, que pueden provocar cambios no lineales en los SSEs si se superan ciertos umbrales.	Los arrecifes de coral pueden cambiar entre regímenes dominados por corales (que proporcionan servicios ecosistémicos) y regímenes dominados por algas. La resiliencia del régimen de coral puede mejorarse promoviendo la abundancia de herbívoros, lo que reduce la posibilidad de que las algas se establezcan en caso de perturbaciones como los eventos de blanqueamiento de coral.	Las retroalimentaciones en el sistema de gobernanza también pueden fortalecerse para mejorar la resiliencia de los corales creando estructuras de gobernanza que apoyen el empoderamiento de los usuarios de los arrecifes y proporcionen incentivos para prevenir la sobrepesca.
Fomentar la comprensión de los SSE como sistemas adaptativos complejos	Fomentar una comprensión holística de los SSEs que reconozca las propiedades de los sistemas adaptativos complejos, como el comportamiento	Los administradores de los parques nacionales de Sudáfrica al permitir que los números de elefantes y los incendios fluctúen entre límites	Elección de enfoques de gestión que permitan la incertidumbre, la variabilidad y el cambio.

	emergente, la incertidumbre y la importancia de los desfases y las retroalimentaciones en la dinámica de los SSE.	específicos en lugar de tratar de mantener las condiciones del ecosistema en niveles óptimos fijos, lo que ha aumentado la variedad de tipos de ecosistemas y hábitats, así como las oportunidades para las especies especializadas que apoyan determinados servicios de los ecosistemas.	
Fomentar el aprendizaje y la experimentación	Modificar o adquirir nuevos conocimientos, comportamientos, habilidades, valores o preferencias a nivel individual, de grupo o social mediante la experimentación y la supervisión	Las prácticas tradicionales, como el manejo de múltiples especies y parches de paisaje, permiten comparar y aprender sobre las respuestas de diferentes especies o comunidades de vegetación.	La experimentación y el seguimiento son herramientas utilizadas para el aprendizaje en el manejo de recursos naturales, y la participación de múltiples partes interesadas en este proceso permite compartir y reflexionar sobre experiencias, ideas y valores, lo que genera confianza y facilita el aprendizaje social.
Ampliar la participación	Involucrar activamente a las partes interesadas relevantes en el proceso de gestión y gobernanza	Incluir una diversidad de partes interesadas en el manejo de los SSEs puede mejorar la legitimidad, facilitar el monitoreo y la aplicación, promover la comprensión de la dinámica del sistema y mejorar la capacidad de un sistema de manejo para detectar e interpretar perturbaciones.	Los enfoques participativos pueden ayudar a los actores a aprender sobre los modelos mentales de cada uno, lo que crea capital social y, a su vez, apoya el cambio institucional y la resolución de conflictos.

Promover sistemas de gobernanza policéntricos	Tener un sistema de gobernanza con múltiples autoridades de gobierno en diferentes escalas, donde cada unidad tiene independencia dentro de un área geográfica y dominio de autoridad específicos, y cada unidad puede vincularse con otras horizontalmente en temas comunes y anidarse dentro de unidades de gobernanza más amplias verticalmente	Los niveles más amplios de gobernanza pueden intervenir cuando los niveles inferiores colapsan y fallan, como cuando el gobierno mexicano declara Áreas Naturales Protegidas en los casos en que los esfuerzos locales resultan ineficaces.	Las estructuras policéntricas otorgan modularidad y redundancia funcional que pueden preservar elementos clave de los SSEs frente a las perturbaciones y los cambios.
--	--	---	---

Fuente: elaboración propia basado en Biggs et al., 2012.

Ejercicio de repaso

Instrucciones. Las siguientes preguntas te ayudarán a repasar los conceptos clave sobre resiliencia socioecológica. Reflexiona sobre cada pregunta y responde con tus propias palabras, utilizando los conocimientos adquiridos en este capítulo.

Preguntas conceptuales:

1. ¿Cómo definirías la resiliencia socioecológica? ¿En qué se diferencia de la resiliencia ecológica o la resiliencia de las comunidades?
2. ¿Cómo se relacionan los conceptos de estabilidad, cambio, adaptación y transformación con la resiliencia?
3. ¿Por qué es importante el concepto de resiliencia para la sostenibilidad de los sistemas socioecológicos?
4. ¿Qué son los umbrales en un sistema socioecológico? ¿Cómo se relacionan con la resiliencia?
5. Describe algunos ejemplos de atributos de resiliencia y cómo se pueden medir.
6. ¿Cómo se puede aplicar el concepto de resiliencia en la gestión de recursos naturales y la adaptación al cambio climático?

Preguntas de aplicación:

1. Piensa en un sistema socioecológico que conozcas (por ejemplo, un bosque, una zona costera, una ciudad). ¿Cómo se manifiesta la resiliencia en este sistema? ¿Qué factores la fortalecen o la debilitan?
2. Imagina que eres un gestor de un área natural protegida. ¿Cómo podrías aplicar los principios de resiliencia para mejorar la gestión del área?
3. Investiga un caso de estudio donde se haya aplicado el concepto de resiliencia para la gestión de un sistema socioecológico. ¿Qué resultados se obtuvieron? ¿Qué lecciones se pueden aprender?

Recomendaciones:

- Tómate tu tiempo para responder cada pregunta de forma reflexiva.
- Consulta el capítulo anterior si necesitas repasar algún concepto.

- Estas preguntas son una oportunidad para profundizar en la comprensión de la resiliencia socioecológica.

3. ¿CÓMO EVALUAR LA RESILIENCIA EN SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS?

En el estudio de la resiliencia de SSEs el proceso de evaluación o medición, adquiere especial relevancia dado que se busca estudiar un sistema complejo desde una perspectiva sistémica que impone retos teórico-conceptuales adicionales (ver la sección 1.1 Definición de sistema complejo). En este sentido, antes de definir la metodología del estudio, se debe tener claridad en la configuración del SSE y el tipo de perturbaciones que son relevantes para la evaluación. Para lograrlo, es indispensable responder a las preguntas *¿resiliencia de qué?* y *¿resiliencia a qué?*, *¿resiliencia para qué?* Contestarlas implica contextualizar la evaluación considerando las características específicas del sistema y las perturbaciones que enfrenta (Carpenter et al., 2001).

3.1 Resiliencia específica y resiliencia general

El análisis del impacto específico a un componente del SSE y la respuesta a perturbaciones exactas y conocidas a las que está expuesto un SSE, se le denomina *resiliencia específica* (Carpenter et al., 2001). En cambio, se habla de *resiliencia general* a aquella enfocada en la capacidad de todo un sistema para adaptarse o transformarse ante diversos factores de cambio (Carpenter et al., 2012). Para decidir entre analizar la resiliencia específica o la general, es necesario tener en cuenta las aportaciones que hace cada una. Por un lado, la resiliencia específica, como ya se indicó, se enfoca en analizar la respuesta específica del sistema hacia un estresor específico. La ventaja de analizarla es que se enfoca en optimizar la capacidad del sistema para enfrentar una amenaza específica. Sin embargo, gestionar y fortalecer la resiliencia específica erosiona la capacidad general del sistema de absorber todo tipo de disturbios.

Respecto a la resiliencia general, como ya se explicó, se enfoca en fortalecer la capacidad del sistema de absorber todo tipo de disturbios incluyendo nuevos e imprevistos. La ventaja de estudiarla es mantener el sistema funcionando. Las capacidades de persistencia, adaptación, transformación y atributos de resiliencia son aplicables a las dos.

3.2 ¿Resiliencia de qué y a qué?

En el primer apartado se describió la manera en la que se puede delimitar y conformar un SSE. Partiendo de ese primer esfuerzo, ahora hay que preguntarnos si se busca estudiar la resiliencia general o específica en primera instancia. Es decir, si se busca entender una parte del sistema. Si ese es el caso es necesario volver a hacer el ejercicio de delimitación del SSE de manera específica para la parte que se quiere analizar.

Por lo tanto, la resiliencia de qué corresponde a la delimitación del SSE y considera las funciones, estructuras y procesos esenciales del sistema que se busca mantener. Se refiere a identificar los componentes clave del SSE bajo estudio, tanto sociales (humanos, económicos, de infraestructura) como ecológicos (abióticos, ecosistemas, recursos naturales) (González-Quintero & Avila-Foucat, 2019) como ya se mencionó.

Para poder saber si se quiere estudiar la resiliencia general o específica se pueden responder las siguientes preguntas como guía: ¿Cuáles son las variables sociales y naturales que determinan la trayectoria del sistema? Si al responder esto nos damos cuenta que corresponde a una parte específica del sistema entonces conviene estudiar la resiliencia específica. ¿qué es lo que define la identidad del sistema y lo que las personas de este valoran? Y ¿cuáles son los grandes problemas que atañen al sistema?

Se pueden utilizar diversos marcos de análisis (como los mencionados en la sección 1.4 Marcos conceptuales para el análisis de sistemas socioecológicos) que nos ayuden a reflexionar sobre los *beneficios directos e indirectos* que tienen las personas desde una perspectiva sistémica. Por ejemplo, pensando *en stocks y flujos*, los flujos son cosas producidas por el sistema (como alimentos, fibras, madera, leña, etcétera) y stocks son componentes del sistema que producen esos flujos (suelo saludable que produce alimentos, el bosque, etcétera). Al trazar la relación entre stock y flujo, entonces podrá identificarse cuáles son los componentes del SSE más importantes y cómo están conectados (relaciones y retroalimentaciones). Entonces, la práctica de la resiliencia se relaciona con entender y gestionar la resiliencia de estos *stocks y flujos*, ya que son el fundamento de nuestra actividad ecológica, económica y social.

Por otro lado, respecto a la pregunta resiliencia a qué, su respuesta se relaciona con identificar qué es a lo que el sistema se tiene que enfrentar, es decir, qué disturbios enfrenta y abarca un

amplio espectro de perturbaciones (shocks y estresores), ya sean de origen social, económico o ambiental, incluyendo las conocidas, novedosas e inesperadas (Carpenter et al., 2012). Es importante distinguir entre los disturbios característicos que son aquellos que las personas conocen y esperan que sigan sucediendo, tales como inundaciones, sequías o huracanes. Mientras que los disturbios poco frecuentes son raros y más largos en magnitud que los anteriores, como plagas, incendios forestales que rompen con estándares históricos o inundaciones fuera de lo común. Son eventos que pueden reconfigurar una región sometiendo al sistema a un cambio de estado (o régimen). Por último, tenemos los disturbios desconocidos que la literatura llega a denominar “cisnes negros” y se refieren a aquellos que se desconocen, pero existe el riesgo latente de enfrentarlos.

3.3 ¿Resiliencia para qué?

Esta pregunta es muy importante dado que puede definir gran parte del enfoque de análisis que se utilice. Si el objetivo primordial es entender las interacciones del sistema y su trayectoria entonces requerimos métodos más analíticos como son los modelos y delimitar el sistema lo más específicamente posible. Si el objetivo es solo identificar atributos que el sistema tiene para enfrentar disturbios entonces podemos enlistar las variables a medir y usar un método más descriptivo cualitativo o mixto como los índices. Esto tiene dos implicaciones importantes. La primera opción indica que la resiliencia va a ser descrita por medio de umbrales e interacciones, pudiendo con esto definir el estado del sistema por lo que la resiliencia es un resultado, una característica emergente. En el segundo caso, tenemos un listado de características que definen la probabilidad de que el sistema sea resiliente, es un proxy.

3.4 Las escalas en la medición de resiliencia

Como se expuso en las sesiones 1.2 Características de los sistemas adaptativos complejos y 1.3 Definición de sistema socioecológico, los SSE son sistemas dinámicos y adaptativos que involucran interacciones entre actores sociales, instituciones, componentes ecológicos y recursos, todo esto a diferentes escalas espaciales y temporales. Es importante anotar que existe discrepancia entre escalas de valoración y gestión, es decir, las evaluaciones de los problemas ambientales a menudo se realizan a escalas agregadas (globales o regionales), mientras que la gestión se lleva a cabo a escalas locales, lo que dificulta la aplicación de las

evaluaciones en la toma de decisiones. También, se corre el riesgo de omitir o subestimar el estudio de los vínculos entre escalas, por lo que es necesario una reflexión profunda de las interacciones entre diferentes escalas y niveles para comprender la dinámica en el estudio de la resiliencia. Entonces, definir las escalas que interactúan en un SSE implica identificar los diferentes niveles de organización, desde lo micro (individuos, hogares) hasta lo macro (comunidades, regiones, países) (Camacho Valdez et al., 2020). Esto permitirá a su vez, definir las variables de estudio y los procesos relevantes en cada nivel de análisis.

Para poder definir las escalas de estudio en SSEs, es necesario entender la unidad, nivel y escala de análisis. La unidad de análisis es la entidad específica que se está estudiando. Puede ser una persona, un hogar, una comunidad, un ecosistema o incluso todo el planeta. Esencialmente, es el "qué" o "quién" que se está analizando. El nivel de análisis especifica la unidad dentro de la escala que se utilizará para medir o estudiar el fenómeno, se refiere a cómo se agrupan las unidades de análisis para el estudio. Por ejemplo, si la unidad de análisis es una persona, el nivel de análisis podría ser individual (cada persona se analiza por separado) o podría ser agregado (se analizan grupos de personas, como hogares o comunidades). La escala de análisis se refiere al alcance espacial, temporal o analítico del estudio. Puede ser micro (pequeña escala, como un hogar o comunidad), meso (escala intermedia, como una región o cuenca hidrográfica) o macro (gran escala, como un país o el mundo). En resumen, la unidad de análisis es el objeto de estudio, mientras que el nivel de análisis es la forma en que se agrupan esas unidades y la escala de análisis es el alcance del estudio. Por lo tanto, la elección de la escala y nivel de análisis depende de la unidad de análisis, los datos disponibles y las preguntas de investigación. Por ejemplo, al analizar la resiliencia de un ecosistema de manglares, si la unidad de análisis son las especies de mangle, el nivel de análisis puede ser a nivel de especie, estudiando la distribución y abundancia de cada especie en el bosque, o a nivel de comunidad, investigando las interacciones entre las diferentes especies. La escala de análisis podría ser micro, enfocándose en una parcela pequeña del bosque, meso, abarcando todo el bosque de una zona costera específica, o macro, estudiando los bosques de manglares a lo largo de toda la costa de un país o región. Es importante elegir cuidadosamente la escala y el nivel de análisis que sean más apropiados para la unidad de análisis, el tipo de datos disponibles y las preguntas de investigación.

Recapitulando, la operacionalización de la resiliencia socioecológica requiere, primero, precisión conceptual, es decir, delimitar claramente la estructura del sistema, las interacciones de sus componentes y los umbrales críticos (como se expuso en la sección 1.3.1 Delimitación de un sistema socioecológico). Además de considerar la razón por la que se está midiendo la resiliencia (investigación, políticas públicas, entre otros) y para quién se está evaluando (comunidades locales, tomadores de decisiones, entre otros) (González-Quintero & Avila-Foucat, 2019). La Figura 9 resume los pasos que deben darse para medir la resiliencia socioecológica, no sin antes agregar que esta secuencia no es lineal sino un ir y venir constante que retroalimenta y mejora cada paso.



Figura 9. Secuencia teórico conceptual para medir la resiliencia socioecológica. Fuente: elaboración propia.

3.5 Herramientas analíticas para el estudio de la resiliencia

La evaluación o medición en la investigación es el proceso de vincular conceptos abstractos con indicadores empíricos, lo que permite una observación sistemática y obtención de datos que representen la realidad estudiada. Se trata de establecer un puente entre la teoría y la evidencia empírica e implica un proceso riguroso de definición de indicadores, variables así como selección de instrumentos de medición y análisis de datos para obtener información significativa y confiable (Creswell & Creswell, 2018; DeVellis, 2017; Hernández Sampieri et al., 2010). En términos metodológicos, la medición implica tomar decisiones cruciales sobre el diseño de la investigación. Esto incluye la elección del enfoque (cuantitativo, cualitativo o mixto), las variables, la selección de escalas de medición y la validación de los instrumentos. La medición adecuada es esencial para obtener resultados precisos, interpretar adecuadamente los datos y extraer conclusiones válidas en la investigación. A continuación, se ofrece un recorrido conceptual sobre lo que implica definir la metodología para medir la resiliencia socioecológica.

3.5.1 Definición de variables

En apartados anteriores ya se explicó la importancia de definir los subsistemas, los indicadores y variables que los componen, así como sus interacciones y límites. En ocasiones cuando llegamos a esta etapa podemos seguir con el sistema inicialmente delimitado o se decide acotar un poco más la investigación, esto dependerá de la pregunta para qué se quiere estudiar la resiliencia. En un SSE, las variables pueden ser sociales (p. e. densidad poblacional, nivel de ingresos) o ecológicas (p. e. biodiversidad, calidad del agua)

Los datos cualitativos son aquellos que describen cualidades o características; en el estudio de SSE, estos datos pueden incluir percepciones de la comunidad sobre el estado del ambiente o descripciones de prácticas de manejo de recursos. Cabe decir que los datos cualitativos pueden cuantificarse como la frecuencia de menciones de ciertos temas o la categorización de las respuestas. Los datos cuantitativos, por otro lado, representan cantidades o magnitudes que se expresan en forma numérica; ejemplos de este tipo de datos usados en el estudio de SSE son la cantidad de precipitación anual o el número de especies en un ecosistema.

3.5.2 Índices

Un índice es una medida compuesta que combina varios indicadores en una sola medida. Los índices se utilizan para sintetizar información sobre un fenómeno complejo, tales como el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que combina indicadores de salud, educación e ingresos. Cabe agregar que los índices utilizan principalmente datos cuantitativos, sin embargo, se pueden construir índices con datos cualitativos, siempre y cuando se puedan cuantificar o transformar a escala numérica.

Es importante entender cómo se construyen los índices, lo cual incluye varios pasos. En principio, se seleccionan los indicadores relevantes que capturan las diferentes dimensiones de la resiliencia, como la capacidad de absorción, la adaptabilidad y la transformabilidad. El siguiente paso, es estandarizar los indicadores, es decir, transformarlos a una escala común para que sean comparables, lo cual implica *normalizar* los datos. El siguiente paso es ponderar los indicadores, que se refiere a asignar pesos a cada indicador según su importancia relativa en la resiliencia del SSE. La ponderación puede basarse en criterios de expertos, análisis estadísticos o combinación de ambos. El último paso se refiere a la agregación de indicadores que consiste en combinar los indicadores ponderados en un índice único; se pueden usar diferentes métodos de agregación, como la suma ponderada, la medida ponderada o análisis de componentes principales.

Algunas ventajas que provee el uso de índices en la medición de la resiliencia socioecológica son: 1) permiten sintetizar información compleja en una sola medida. 2) facilitan la comparación de la resiliencia entre diferentes sistemas o a lo largo del tiempo. 3) son herramientas útiles para comunicar información sobre la resiliencia a diferentes audiencias, incluyendo tomadores de decisiones, científicos y público en general. 4) pueden utilizarse para monitorear la resiliencia de un sistema a lo largo del tiempo.

3.5.3 Construcción de modelos

La construcción de modelos es una herramienta poderosa que permite representar la complejidad de los SSEs. Un modelo es una representación simplificada de la realidad que busca capturar las variables y procesos clave que influyen en la resiliencia de un sistema. Para su construcción es necesario, primero, definir y delimitar el sistema (componentes,

interacciones y variables clave). El siguiente paso es traducir la conceptualización a un lenguaje formal, como ecuaciones matemáticas, diagramas o reglas lógicas, es decir formalizarlo. A continuación, es necesario ajustar los parámetros del modelo con datos empíricos para que represente adecuadamente la realidad, es decir, calibrarlo. El paso final, es evaluar la capacidad del modelo para reproducir patrones y dinámicas observadas en el sistema real, o validación. Para profundizar en la modelación de sistemas complejos, te invitamos a consultar el trabajo de Zamora-Maldonado & Avila Foucat (2023) dando [clic aquí](#).

Los modelos pueden utilizar datos cualitativos y/o cuantitativos, los datos cuantitativos se utilizan para calibrar y validar los modelos, mientras que los datos cualitativos pueden utilizarse para la conceptualización del modelo y para la interpretación de los resultados. La construcción de un modelo requiere una comprensión profunda del sistema, una selección adecuada de variables y una validación rigurosa con datos empíricos. Algunas ventajas de los modelos en la medición de resiliencia en SES son: 1) permiten representar la complejidad de los SSE, incluyendo las interacciones entre variables sociales y ecológicas, las retroalimentaciones y los umbrales. 2) permiten simular diferentes escenarios y perturbaciones, lo que ayuda a comprender la respuesta del sistema y a evaluar su resiliencia. 3) pueden utilizarse para predecir la evolución del sistema bajo diferentes condiciones y para evaluar la efectividad de las intervenciones de gestión. Es importante decir que los modelos son representaciones simplificadas de la realidad y que sus resultados deben interpretarse con cautela. Sin embargo, pueden contribuir significativamente a la comprensión y gestión de la resiliencia en SSEs.

3.6 Estudio de caso en Ixil.

A continuación, se presentan estudios de caso donde se realizó el ejercicio de operacionalización de la resiliencia socioecológica para su medición. El primero de ellos se localiza en el municipio de Ixil, Yucatán, México, representado en la Figura 10. Este municipio cuenta con una variedad de ecosistemas que van desde la selva baja, los manglares, las sábanas y la playa, fauna como jaguares, caimanes, venados, caballos salvajes y varias especies de plantas endémicas que comprenden el subsistema natural. Por otro lado, el subsistema social está compuesto de población reconocida como campesina indígena que en su mayoría depende del territorio para su sustento y la realización de prácticas culturales. En el

territorio se realizan varias actividades como la horticultura (rábano, cilantro, maíz y otros alimentos) y la ganadería; además, la tierra garantiza el espacio para la construcción de viviendas, así como la disponibilidad de plantas endémicas utilizadas diariamente en la preparación de alimentos y maderables para construcción. También existen condiciones de presión sobre el subsistema social como la precarización histórica de los precios del campo para los productores lo que ha generado: abandono progresivo del campo; fragmentación social; cambio de uso del suelo; y falta de conocimiento de derechos agrarios por parte de la población local y ejidal (Camargo Núñez, 2024).

En este municipio, se implementó en 1993 el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (Procede) el cuál fijaba los límites de los ejidos que lo aceptaron y otorgaba títulos individuales de derechos, ya fuera de uso común y/o de parcelas en aquellos ejidos que hubieran aceptado parcelar (Torres-Mazuera, 2014). en 1993 se lanzó el Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (Procede). Este programa fijaba los límites de los ejidos que lo aceptaron y otorgaba títulos individuales de derechos, ya fuera de uso común y/o de parcelas en aquellos ejidos que hubieran aceptado parcelar (Torres-Mazuera, 2014). Este programa permitió el parcelamiento de tierras de uso común con cubierta forestal, lo cual era ilegal, de acuerdo con el artículo 59 de la Ley Agraria que establece la nulidad de pleno derecho en la asignación de parcelas en bosques o selvas tropicales (Torres-Mazuera, 2021).

A partir de la implementación de este programa, se impulsó la realización de proyectos de generación de energía eléctrica utilizando el potencial eólico de la región. Tanto las empresas eólicas como otros proyectos inmobiliarios obtuvieron la tenencia de los predios por medio de procesos de privatización de tierras de propiedad social donde la gobernanza de la asamblea agraria o comunitaria es débil o inexistente (Torres-Mazuera et al., 2022), en última instancia, donde la organización comunitaria no cuenta con la fuerza suficiente para hacerle frente a una serie de factores que amenazan la permanencia de tradiciones y formas de habitar el territorio (Camargo Núñez, 2024). La Tabla 4 muestra los estresores que han impactado al SSE de Ixil, sus interacciones y efectos.



Figura 10. Diagrama del sistema socioecológico de Ixil. Fuente: Camargo Núñez, 2024.



Figura 11. Línea de tiempo del SSE de Ixil con los principales estresores. Fuente: Camargo Núñez, 2024.

Tabla 4. Estresores y shocks que han impactado al sistema socioecológico del municipio de Ixil, Yucatán

Estresor	Año	Tipo de Interacción	Efectos
Programa PROCEDE	1998	Externa	• Incertidumbre jurídica de tierras ejidales • Venta ilegal de tierras y especulación • Facilita la entrada de megaproyectos al territorio
Intento de privatización: Compraventa ilegal	2014	Interna	• Pérdida de derechos agrarios • Abandono del campo por parte de algunos pobladores • Precarización de condiciones de vida • Desplazamiento económico • Fragmentación social • empoderamiento comunitario
Intento de instalación de megaproyectos eólicos en tierras de uso común	2019	interna	• Organización y Empoderamiento comunitario • conocimiento de derechos agrarios • Involucramiento en temas jurídicos
Clausura Megaproyecto inmobiliario Aludra	2022	Interna	• Conocimiento, involucramiento en temas jurídicos • Reconocimientos fraudes inmobiliarios
Primer intento de despojo de tierras comunales por parte de las familias Abimerhi y Millet	2022	Interna	• Incertidumbre jurídica de tierras ejidales • Venta ilegal de tierras y especulación • Facilita la entrada de megaproyectos al territorio
Segundo intento de despojo de tierras comunales por parte de las familias Abimerhi y Millet	2023	Interna	• Perdida de derechos agrarios • Abandono del campo • Precarización de condiciones de vida • Desplazamiento económico • Fragmentación social • Empoderamiento comunitario

Denuncia megaproyecto inmobiliario Cedron	2023	interna	• Organización y Empoderamiento comunitario • conocimiento de derechos agrarios • Involucramiento en temas jurídicos
---	------	---------	--

Fuente: Camargo Núñez, 2024

De acuerdo con Camargo Núñez (2024), la evaluación de la resiliencia de este SSE buscaría definir con mayor detalle los estresores que ha enfrentado este sistema a lo largo de su trayectoria, por lo que se pretende evaluar la resiliencia específica a los intentos sistemáticos de privatización y despojo de tierras ejidales y comunales a partir del programa PROCEDE. Con respecto a la respuesta a resiliencia para qué, otro de los objetivos es conocer mejor las interacciones del sistema, así como sus umbrales a partir del estudio de la trayectoria del sistema. Es decir, definir qué tan cerca se encuentra el sistema actual de los puntos de no retorno. Para ello, y siguiendo la metáfora de la cuenca de atracción, se reconoce que este sistema ha pasado de un punto A en el que pudo encontrarse en un lugar estable y resiliente a un punto B, siendo este un estado de muchos cambios resultantes de una serie de estresores que amenazan el sistema no solo en términos ambientales, sino también sociales, culturales y económicos. Así, el umbral de cambio sistémico, o punto de no retorno, es la pérdida del territorios comunales y ejidales a partir de la privatización, o procesos de despojo tanto ilegales como legales o amparados por la ley. Para analizar este panorama, se eligió la capacidad de persistencia del SSE de Ixil, que implica el mantenimiento de la identidad del sistema basada en función, estructura y retroalimentaciones que se explican en la Tabla 5 (Camargo Núñez, 2024).

Tabla 5. Elementos teóricos de la resiliencia socioecológico de Ixil.

Resiliencia = Identidad = Función + Estructura + Retroalimentación		
Elementos teóricos de resiliencia socioecológica	Definición	Ixil
Estructura	Elementos del sistema en Escala	Social: Pueblo indígena maya, campesinos. Natural: Ecosistemas como Selva baja, playas, manglares, sabana. Fauna y flora endémica.
Función	El sistema cubre una necesidad	Actividades dependientes del territorio: Horticultura, ganadería, maderables, plantas endémicas, vivienda.
Retroalimentación	Conexión entre variables	Sin la tierra o el territorio no hay forma de continuar con actividades económicas y culturales. Se genera además procesos de degradación ambiental.

IDENTIDAD: La pérdida del territorio implica la pérdida de la identidad de Ixil.

Fuente: Camargo Núñez, 2024.

Teniendo en cuenta la trayectoria del sistema y los procesos de resistencia y defensa representados en la Figura 11, Camargo Núñez (2024) planteó dos hipótesis: H1. Las diferentes líneas de acción, al ser acumulativas logran buenos resultados, y el sistema recupera las tierras que históricamente les han pertenecido. H2. Pese a los esfuerzos, las tierras de Ixil son privatizadas por parte de diferentes sectores económicos, se instalan así megaproyectos de diferente orden y tanto el sistema social como el sistema ecológico no vuelven a ser los mismos. La población entonces debe encontrar otras formas de sustento que no dependan del trabajo de la tierra, o migrar a la ciudad de Mérida en busca de nuevas oportunidades. Para comprobar las mencionadas hipótesis, Camargo Núñez (2024) decidió, a partir de la trayectoria, evaluar el estado actual de los procesos de resistencia, a fin de aportar elementos para su aprendizaje y mejora en el futuro. Para ello, se echó mano de los atributos de resiliencia como se muestra en la Tabla 6.

Finalmente, en cuanto a la aproximación metodológica elegida por Camargo Núñez (2024), dado que la resistencia comunitaria no puede ser medida por sí misma, se operacionalizaron las variables con el fin de desglosar las acciones llevadas a cabo por el movimiento de defensa en indicadores que puedan ser medibles, cuantificados y caracterizadas especialmente en términos cualitativos. Lo que se pretende hallar con los instrumentos de colección de datos propuestos es información cualitativa a través de fuentes primarias que logren dar cuenta de la trayectoria del sistema, así como las alternativas futuras para el fortalecimiento del movimiento de defensa a nivel interno y externo.

Tabla 6. Operacionalización de variables considerando su evaluación mediante los principios de resiliencia en el sistema socioecológico de Ixil, Yucatán, México.

Atributos de resiliencia	Resistencia Ixil	Indicadores	Instrumento-tipo de información cualitativa
CONECTIVIDAD	Movilización: • Protesta • Ruedas de prensa (# y temas) • Intercambio de experiencias y estrategias de resistencia entre comunidades	• No. Protestas, ruedas de prensa • No. Actores diversos con los que se relacionan (inter/exterior)	Encuesta/entrevista: Información empírica.
DIVERSIDAD	Tipos de respuestas/acciones colectivas: • Ordenamiento Ecológico: reglas de uso • Juicios/acciones legales • Protesta	• No. Acciones legales y en que temas	Encuesta/entrevista: Información empírica.
MANEJO ADAPTATIVO	Cambios/Modificaciones de prácticas en función del despojo.	• Organizativo: Efectos (+)/(-) • Agrícolas: Efectos (+)/(-)	Entrevista: Información empírica.

IDENTIFICACIÓN Y ESTADO DE UMBRALES DEL SISTEMA	Umbral, punto de no retorno: Pérdida de la tierra: • Cultura y tradición • Afectación a economías- formas de vida	• No. tradiciones perdidas • Pérdida de dinero	Encuesta/entrevista Información empírica variables no consideradas.
---	---	---	--

Fuente: Camargo Núñez, 2024.

3.7 Estudio de caso en el Ejido Galacia.

Retomando este sistema definido en el apartado 1.4.2, página 23, la Tabla 7 muestra la trayectoria de este sistema socioecológico.

Tabla 7. Trayectoria del Ejido Galacia, Marqués de Comillas (Chiapas)

Año	Tipo de factor	Estresor/Shock	Efectos sociales	Efectos ambientales
1970	Interno/Externo	Ocupación territorial del sureste mexicano	• Inflación demográfica • Heterogeneidad cultural • Falta de estructura comunitaria • Incomunicación • Enfermedades • Falta de conocimiento sobre el manejo de ecosistemas tropicales • Falta de acceso servicios médicos e infraestructura	• Incremento en la tasa de deforestación • Cambio de uso de suelo
2000	Externo	Apertura de carreteras	• Crecimiento poblacional • Mejora en el acceso a los servicios básicos • Mayor infraestructura (activo físico) • Llegada de nuevos pobladores con distintas costumbres a la familia fundadora (Familia Marroquín). • Incremento de las actividades pecuarias	• Mayor presión a los ecosistemas tropicales • Abandono de sistemas de cultivo por falta de productividad • Mayor deforestación

2007	Externo	PSA	• Aumento en los ingresos económicos de los hogares (activo financiero) • Fortalecimiento de los activos en los hogares • Diversificación de las estrategias de medios de vida. • Intensificación de los sistemas agropecuarios	• Inicialmente incrementó la deforestación forestal. • En fechas posteriores, permitió la conservación de selva tropical.
2009 (inicio del proyecto) 2012 (apertura)	Interno	Proyecto ecoturístico "Canto de la Selva"	• Fomentó la generación de empleos e ingresos que contribuyó a mejorar la calidad de vida de los ejidatarios. • Incremento en los activos sociales (capacitaciones en el sector turístico). • Fomento de la sostenibilidad financiera del ejido. • Cambios en la gobernanza del ejido • Diversificación de medios de vida debido a la mejora en los activos financieros	• Protección del paso de fauna • Conservación de la selva • Equilibrio humano-naturaleza a través del ecoturismo.
2019	Externo	Implementación del programa Sembrando Vida	• Diversificación de los medios de vida • Mejora en el activo financiero • Mayor producción de alimentos • Falta de salida/mercados de la mercancía producida	• Tensiones entre las hectáreas en conservación VS las productivas • Incremento en las tasas de deforestación
2020-2022	Externo	Pandemia por COVID-19	• Baja en el turismo de la zona • Pérdidas en el activo financiero • Pérdidas humanas	

2020	Externo	Inundaciones provocadas por la apertura de presas en Guatemala.	• Pérdida de capital natural, financiero y físico • Debilitamiento del tejido social debido a los conflictos para acceder a la zona inundada.	• Incremento de las tensiones entre la fauna de la reserva y el ejido. • Incremento de la deforestación para compensar la pérdida de terrenos.
------	---------	---	--	---

Fuente: Flores Pardo, 2024.

De acuerdo con Flores Pardo (2024), la Tabla 8 muestra los principales shocks y estresores a los cuales se ha enfrentado desde la fundación del ejido. En particular, Flores Pardo (2024) seleccionó como principal estresor a la degradación forestal por ser una de las problemáticas más grandes en la región.

Tabla 8. Principales estresores y shocks que impactaron en el SSE de los hogares del Ejido Galacia, 2019 al 2023.

Factor de cambio	Activo natural	Activo físico	Activo financiero	Activo social	Activo humano
Sembrando Vida (Estresor)	-Introducción de especies no adecuadas para el clima y tipo de suelo de la región -Pérdida de cobertura forestal nativa -Erosión del suelo -Pérdida de biodiversidad	+Mejoras en las herramientas de trabajo e infraestructura	+Mayores ingresos +Cajas de ahorro +Diversificación de los medios de vida	+Organización social +Grupos comunitarios	+Capacitaciones continuas
Pandemia por COVID-19 (Shock)			-Menor ingreso económico por baja de turistas en el hotel Canto de la Selva	-Desorganización social	-Deficiencia del sistema educativo -Pérdidas humanas -Enfermedad
Inundación por apertura de presa (Shock)	-Degradación de la tierra -Tensiones entre la	-Pérdida de cultivos	-Pérdidas económicas invertidas en los cultivos	-Incremento en las problemáticas	

	reserva y el ejido	-Falta de lanchas para pasar el río -Pérdida de infraestructura	-Baja o nula productividad -Gastos extras para llegar a la isla -Gastos al rentar terrenos en compensación de los perdidos +Mayor ingreso en familias que conservaron sus hectáreas -Deudas	sociales del ejido -Desorganización social	
Deforestación y degradación forestal (estresor)	-Pérdida de la productividad de la tierra -Plagas -Erosión y compactación del suelo -Pérdida de biodiversidad - Pérdida de conectividad biológica -Contaminación del agua	-Pérdidas de plantas, semillas, infraestructura	-Pérdidas económicas por la disminución de la productividad y los impactos en los cultivos establecidos -Abandono de cultivos	-Tensiones entre los dueños de la tierra +Formación de grupos interesados en la conservación	-Enfermedades
Cambio climático (estresor)	-Degradación de la tierra -Cambios en la estacionalidad -Incremento de la temperatura de la región -Erosión de la tierra	-Pérdidas de infraestructura -Pérdidas de cultivos (plantas y semillas)	-Incertidumbre en la cosecha y venta de cultivos	-Tensiones sociales +Formación de grupos interesados en la conservación	-Enfermedades

Fuente: Flores Pardo, 2024.

En el caso de Galacia, la principal causa de degradación identificada por Flores Pardo (2024) fue la deforestación y cambio de uso de suelo para implementar sistemas agropecuarios. En este caso, se identificaron las interacciones socioecológicas mediante el Marco de Medios de Vida, con el cuál se definieron las estrategias seleccionadas por los jefes/jefas de familia para

contrarrestar los disturbios y, de esta manera, evaluar la resiliencia de los hogares en el ejido Galacia. Debido a que únicamente se evaluará la resiliencia de algunas partes del sistema a un tipo particular de disturbio, se dice que se evaluará la resiliencia específica del sistema. Con respecto a resiliencia de qué, se analizarán los hogares del Ejido Galacia. Respecto a la resiliencia ante qué, es a los impactos de la degradación de la selva dentro del ejido. Sobre la resiliencia para qué, para identificar cómo estos sistemas enfrentan los impactos de la degradación, generando estrategias que promueven o amortigüen sus efectos. De esta manera, se podrán analizar y fortalecer capacidades ante la degradación, previniendo el colapso del sistema.

Flores Pardo (2024) planteó dos hipótesis de cambio para el sistema del ejido Galacia representadas en la Figura 12: H1. Dada la conexión de los sistemas ecológicos y sociales, la degradación de la tierra generalmente provoca una disminución en la capacidad de adaptación de los SSE para mantener sus funciones básicas durante un periodo de estrés o perturbación. A menudo se produce una pérdida de capacidades de adaptación entre los productores, por lo que ejercen mayor presión sobre los procesos ecológicos. De esta manera, se presenta una espiral de riesgo en los sistemas naturales y humanos a medida que los recursos del suelo se agotan y las comunidades vegetales cambian (Kates et al., 2012; Webb et al., 2017). H2. Existen distintos factores que influirán en las decisiones tomadas para implementar las distintas estrategias de medios de vida ante la degradación. De esta manera, la resiliencia de los hogares dependerá en gran medida de dichos factores y no necesariamente una mayor degradación forestal llevará a una espiral de riesgo. Algunas otras estrategias, como la migración, el cambio de prácticas agrícolas y la diversificación de estrategias de medios de vida podría causar una retroalimentación negativa, aminorando así la gravedad de la degradación forestal (Barbier y Hochard, 2018) (Flores Pardo, 2024).

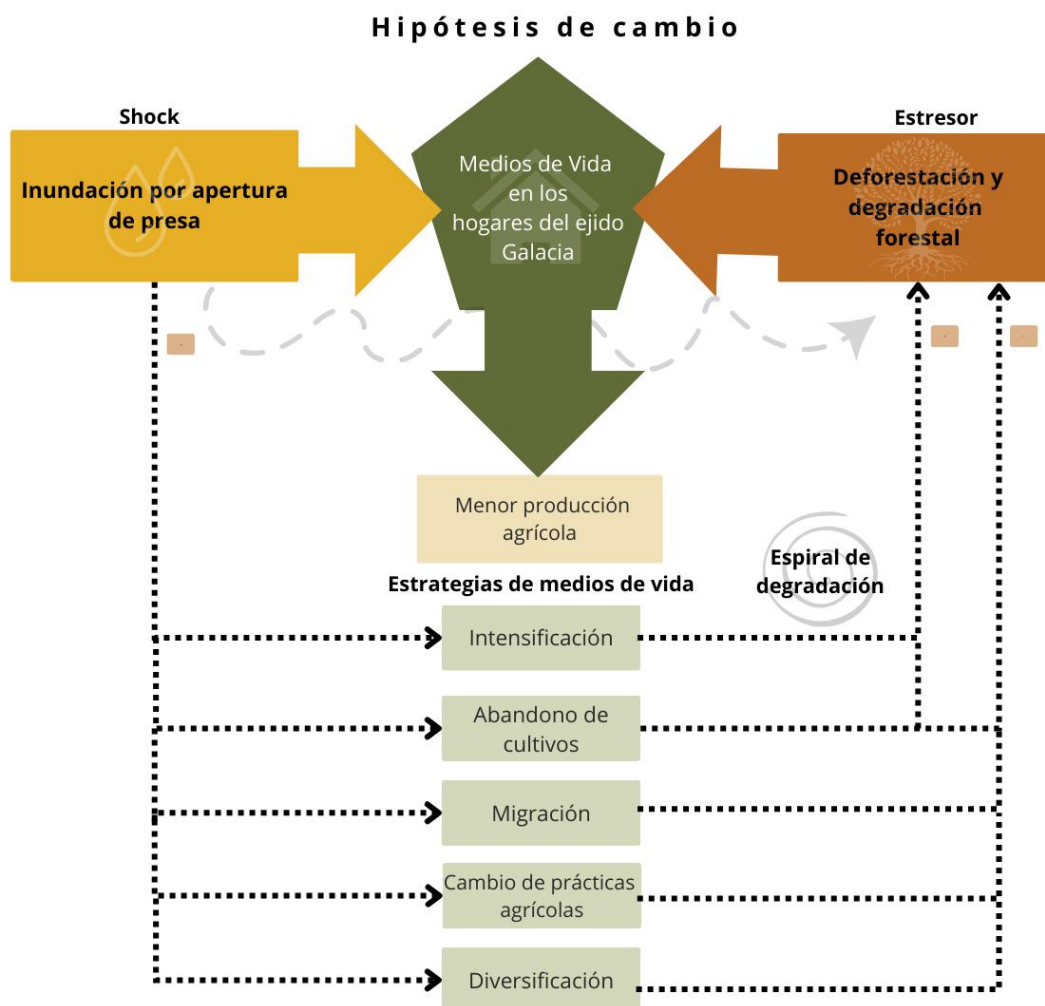


Figura 12. Esquema de las hipótesis de cambio dentro del SRE de los hogares del Ejido Galacia. Fuente: Flores Pardo, 2024.

Finalmente, la Tabla 9 muestra la aproximación metodológica para mediar la resiliencia socioecológica ocupando el marco de medios de vida (MVS) en el SRE del Ejido Galacia.

Tabla 9. Propuesta metodológica para evaluar la resiliencia socioecológica a nivel hogar a través de los impactos generados por la degradación forestal en los activos y estrategias de medios de vida de los habitantes del Ejido Galacia

Pregunta clave	Fuente de información	Técnica de recolección de datos	Método de análisis de datos
Variable independiente: Degradación forestal (estresor principal) Variable dependiente: A) Activos de medios de vida B) Estrategias de medios de vida C) Atributos de resiliencia socioecosistémica			
¿Cuáles son los activos disponibles en los hogares?	Búsqueda en bases de datos gubernamentales (secundaria) Encuesta (primaria)	Preguntas cerradas al jefe/jefa de familia	Cuantitativo
¿Cómo afecta la degradación forestal en sus activos de medios de vida?	Encuesta de percepciones (primaria)	Preguntas cerradas y abiertas al jefe/jefa de familia	Cuantitativo
¿Cómo están respondiendo ante el estresor?	Encuesta (primaria)	Preguntas cerradas ya abiertas al jefe/jefa de familia	Cuantitativo

Fuente: Flores Pardo, 2024.

Actividad 2. ¿Resiliencia de qué? ¿Resiliencia a qué?

Objetivo. *Comprender la importancia de definir claramente el objeto de estudio y las perturbaciones relevantes al medir la resiliencia socioecológica.*

Materiales:

Descripción de un caso de estudio de un sistema socioecológico, como los que se han analizado mediante las Tarjetas de Reporte elaboradas por el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera. Puedes consultarlas entrando aquí: https://lanresc.mx/publicaciones/tarjetas_reporte/

Instrucciones:

1. Lee el caso de estudio y familiarízate con él. Identifica los componentes sociales y ecológicos clave, así como las interacciones entre ellos.
2. Responde a la siguiente pregunta "¿Resiliencia de qué?":
 - ¿Qué funciones, estructuras o procesos del sistema son esenciales para su sostenibilidad y bienestar?
 - ¿Qué valoran las personas de este sistema? ¿Qué desean mantener o mejorar?
 - ¿Cuáles son los "stocks" y "flujos" clave en el sistema? ¿Cómo se relacionan entre sí?
3. Responder a la pregunta "¿Resiliencia a qué?":
 - ¿Qué perturbaciones o cambios enfrenta este sistema? (p.e., cambio climático, desastres naturales, crisis económicas, cambios sociales).
 - ¿Cuáles son las perturbaciones más comunes o esperadas?
 - ¿Existen perturbaciones poco frecuentes o inesperadas que podrían afectar al sistema?
 - ¿Cómo podrían estas perturbaciones afectar los componentes y las funciones clave del sistema?
4. Reflexiona sobre la importancia de la escala:
 - ¿A qué escala espacial se está considerando la resiliencia? (p.e., local, regional, nacional).
 - ¿Qué escalas temporales son relevantes para el análisis? (p.e., corto plazo, largo plazo).

- ¿Cómo podrían las interacciones entre diferentes escalas influir en la resiliencia del sistema?

CONCLUSIONES

La resiliencia socioecológica se ha convertido en un concepto clave para comprender la interacción dinámica entre los sistemas humanos y naturales en un contexto de creciente complejidad e incertidumbre. A lo largo de este documento, hemos explorado los fundamentos de la resiliencia, los diferentes enfoques para su estudio y las herramientas metodológicas para su evaluación. El análisis de la resiliencia en los SSE requiere una perspectiva interdisciplinaria que integre conocimientos de las ciencias sociales y naturales. Es fundamental comprender las interacciones entre los componentes del sistema, las retroalimentaciones, los umbrales y las dinámicas de cambio a diferentes escalas espaciales y temporales. La construcción de resiliencia en los SSE es un proceso continuo que implica aprendizaje, adaptación y transformación. La participación de las partes interesadas, la gobernanza adaptativa y la gestión de variables lentas son cruciales para fortalecer la resiliencia y promover la sostenibilidad a largo plazo. Esperamos que este documento haya proporcionado a los estudiantes las herramientas conceptuales y metodológicas necesarias para comprender y analizar la resiliencia en los SSE. Los invitamos a profundizar en el estudio de este campo y a contribuir a la búsqueda de soluciones para los desafíos socioambientales del presente.

REFERENCIAS

- Antoni, C., Huber-Sannwald, E., Reyes Hernández, H., van't Hooft, A., & Schoon, M. (2019). Socio-ecological dynamics of a tropical agricultural region: Historical analysis of system change and opportunities. *Land Use Policy*, 81(October 2018), 346–359.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.028>
- Ávila Foucat, S. V., Torres Freyermuth, A., Esqueda Lara, K., Medellín Mayoral, G., Salgado Nieto, U., González Quintero, C., Ramírez León, A., & Reyna Fabián, M. (2020). Capítulo 5. Trayectoria de los socioecosistemas costeros. En V. S. Avila-Foucat & I. Espejel (Eds.), *Resiliencia de Socioecosistemas Costeros* (Primera, pp. 134–167). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Facultad de Ciencias.
http://www.iiec.unam.mx/sites/www.iiec.unam.mx/files/libros_electronicos/RSC_SAT_0.pdf
- Avila Núñez, A. (2024). *Propuesta para la Evaluación de la Resiliencia del Sistema de provisión de agua y energía de la comunidad de San Andrés Cuexcontitlán, Toluca, Estado de México*.
- Bagchi, D. K., Blaikie, P., Cameron, J., Chattopadhyay, M., Gyawali, N., & Seddon, D. (1988). Conceptual and methodological challenges in the study of livelihood trajectories: Case-studies in Eastern India and Western Nepal. *Journal of International Development*, 10, 453–468.
- Béné, C., Headey, D., Haddad, L., & von Grebmer, K. (2016). Is resilience a useful concept in the context of food security and nutrition programmes? Some conceptual and practical considerations. *Food Security*, 8(1), 123–138. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0526-x>
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2003). *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press.
- Biggs, R., De Vos, A., Preiser, R., Clements, H., Maciejewski, K., & Schlüter, M. (Eds.). (2022). *The Routledge handbook of research methods for social-ecological systems*. Routledge, Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9781003021339>
- 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>

Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. G., & Pahl-wostl, C. (2013). *Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems*. 18(4).

Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2005). *Practical Handbook of Material Flow Analysis* (Lewis).

Cadena-Inostroza, C., & Morales-Fajardo, M. E. (2021). Conflictos entre ayuntamiento y comités independientes en Toluca por la gobernanza del agua. *Carta Económica Regional*, 33(127), 25–53.

Camacho Valdez, V., Morales Barragán, F., Torres Irineo, E., & Sáenz Arroyo, A. (2020). Capítulo 4. Interacciones a diferentes escalas espaciotemporales en socioecosistemas costeros. En *Resiliencia de Socioecosistemas Costeros* (Primera, pp. 119–133). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Facultad de Ciencias.

Camargo Núñez, D. (2024). *Trayectoria del sistema socioecológico de Ixil-Yucatán: La defensa territorial como atributo de la capacidad de resistencia socioecosistémica*.

Carpenter, S. R., Arrow, K. J., Barrett, S., Biggs, R., Brock, W. A., Crépin, A. S., Engström, G., Folke, C., Hughes, T. P., Kautsky, N., Li, C. Z., Mccarney, G., Meng, K., Mäler, K. G., Polasky, S., Scheffer, M., Shogren, J., Sterner, T., Vincent, J. R., ... de Zeeuw, A. (2012). General resilience to cope with extreme events. *Sustainability*, 4(12), 3248–3259. <https://doi.org/10.3390/su4123248>

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>

Carr, E. R., Wingard, P. M., Yorty, S. C., Thompson, M. C., Jensen, N. K., & Robertson, J. (2007). Applying DPSIR to sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 14, 543–555.

Chambers, R., & Conway, G. (1992). *Sustainable rural livelihoods: Practical concepts for the 21st century*. Institute of Development Studies.

- Cohen Salgado, D. (2014). *Estrategias de manejo del bosque tropical seco. Un estudio de caso en Jalisco*. [Tesis de licenciatura]. Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cohen Salgado, D. (2024). *Análisis de resiliencia socioecológica a huracanes desde la perspectiva interseccional: Oportunidades para la adaptación al cambio climático en comunidades semi-costeras de México*.
- Cohen-Salgado, D., García-Frapolli, E., Mora, F., & Crick, F. (2021). How does social capital shape the response to environmental disturbances at the local level? Evidence from case studies in Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 52, 101951. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101951>
- Consejo Nacional de Población. (2012). *Índice de marginación por localidad 2010, México, Conapo* [Dataset]. <https://cutt.ly/ZwiH4ey2>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (Fifth edition). SAGE.
- Cumming, G. S., & Collier, J. (2005). Change and Identity in Complex Systems. *Ecology and Society*, 10(1), 29–29.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem*.
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale development: Theory and applications* (Fourth edition). SAGE.
- Diaz, S., Settele, J., & Brondizio, E. (2019, mayo). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/ipbes>
- Duru, M., Therond, O., & Fares, M. (2015). Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1237–1257. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Ellis, F. (2000). *Rural livelihoods and diversity in developing countries* (1. publ). Oxford Univ. Press.

- Estrada, E. (2023). What is a Complex System, After All? *Foundations of Science*.
<https://doi.org/10.1007/s10699-023-09917-w>
- Eurostat. (1999). *Towards Environmental Pressure Indicators for the EU. First Report. Panorama of the European Union, Theme 8, Environment and Energy*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Flores Pardo, A. D. (2024). *Análisis de la resiliencia socioecosistémica en los hogares del ejido Galacia, Marqués de Comillas (Chiapas)*.
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C. (2007). Social-ecological systems and adaptive governance of the commons. *Ecological Research*, 22(1), 14–15. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0074-0>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4).
<https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>
- García, R. (2006). *Sistemas complejos Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (Primera). Gedisa Editorial.
- Gavito, M. E., Martínez-Yrizar, A., & Ahedo, R. (2014). La vulnerabilidad del socio-ecosistema de bosque tropical seco en Chamela, Jalisco, al cambio global: Un análisis de sus componentes ecológicos y sociales. *Investigación ambiental, Ciencias y Políticas Públicas*, 6(2), 109–126.
- González-Flores, V. A. (2018). *Calidad de vida urbana en el municipio de Toluca, aspectos urbanos, económicos y sociales. Caso de estudio: Delegación San Andrés Cuexcontitlán* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/98852>
- González-Quintero, C., & Avila-Foucat, V. S. (2019). Operationalization and Measurement of Social-Ecological Resilience: A Systematic Review. *Sustainability*, 11(21), 6073.
<https://doi.org/10.3390/su11216073>

- Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393–408.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta, p. 613). McGraw Hill.
- 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>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población 2020* [Dataset]. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
- Kerner, D. A., & Thomas, J. S. (2014). Resilience attributes of social-ecological systems: Framing metrics for management. *Resources*, 3(4), 672–702. <https://doi.org/10.3390/resources3040672>
- Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). What is a complex system? *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33–67. <https://doi.org/10.1007/s13194-012-0056-8>
- Maass, M. (2018). Capítulo 1. Los sistemas socio-ecológicos (SSE) desde el enfoque socioecosistémico (SES). En *Sistemas socio-ecológicos: Marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México* (Primera, pp. 19–66). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Maldonado, C. E. (2014). ¿Qué es un sistema complejo? *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 14(29), 71–93.
- Marín Jurado, L. (2024). *Un acercamiento de resiliencia en un sistema socio-ecológico de montaña. Caso de estudio: “Volcán Ayaquemetl”*.
- Martínez, M. L. (2009). *Las playas y las dunas costeras: Un hogar en movimiento. Fondo de Cultura Económica*. Fondo de Cultura Económica, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,.
- Martínez Romero, E., & Esparza Olguín, L. G. (2021). Teorías de sistemas complejos: Marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental. *El Colegio de Jalisco*, marzo-agosto(21), 373–398.

- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P. (2012). Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.018>
- Mendoza-González, G., Zepeda-Centen C., F. V., Hernández Mendoza, V., Hoil, D., Secaira, F., Aguirre-Fierro, J. C., & Rioja-Nieto, R. (2022). *Manual para la restauración de dunas costeras de la Península de Yucatán*. Escuela Nacional de Estudios Superiores Sisal, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merlo-Galeazzi, A., Avila-Foucat, V. S., & Perevochtchikova, M. (2024). Analysis of the watershed social–ecological system trajectory in Copalita-Huatulco, Mexico: The impact of drivers on hydrological ecosystem services. *Ambio*, 53(12), 1797–1812. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02064-x>
- Meuwissen, M. P. M., Feindt, P. H., Spiegel, A., Termeer, C. J. A. M., Mathijs, E., de Mey, Y., Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroege, W., ... Reidsma, P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176(January), 102656–102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Meza Osorio, T. Y. (2022). *Perspectivas locales sobre el turismo en Sisal, Yucatán y sus implicaciones en la conservación de los ecosistemas de playas y dunas costeras en el contexto de la designación de pueblo mágico*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Orozco Miranda, A. S. (2024). *Resiliencia del socioecosistema de dunas costeras en Sisal, Yucatán*.
- Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 15181–15187.
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Pahl-Wostl, C., Holtz, G., Kastens, B., & Knieper, C. (2010). Analyzing complex water governance regimes: The management and transition framework. *Environmental Science & Policy*, 13, 571–581.

- Pahl-Wostl, C., & Kranz, N. (2010). Editorial to special issue: Water governance in times of change. *Environmental Science and Policy*, 13, 567–570.
- Partelow, S. (2016). Coevolving Ostrom’s social–ecological systems (SES) framework and sustainability science: Four key co-benefits. *Sustainability Science*, 11(3), 399–410.
<https://doi.org/10.1007/s11625-015-0351-3>
- Perevochtchikova, M. (2018). Capítulo 6. Formalización de un sistema socio-ecológico forestal mexicano. En *Sistemas socio-ecológicos: Marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México* (Primera, pp. 129–146). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Perrings, C. (1998). Resilience in the Dynamics of Economy-Environment Systems. *Environmental and Resource Economics*, 11(3/4), 503–520. <https://doi.org/10.1023/A:1008255614276>
- Preiser, R., Biggs, R., De Vos, A., & Folke, C. (2018). Social-ecological systems as complex adaptive systems: Organizing principles for advancing research methods and approaches. *Ecology and Society*, 23(4), 46–46.
- Ramírez-León, A., Avila-Foucat, V. S., & Ezzine-de-Blas, D. (2023). The historical trajectory of a coffee agri-food system: A case study in Oaxaca, Mexico. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01893-6>
- Resilience Alliance. (2010). *Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners: Workbook for Practitioners* (p. 54).
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H.,

- Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*.
- Rojas-Álvarez, J. (2013, julio 7). San Andrés Cuexcontitlán, Historia y Actualidad. *Educación Media Superior y Superior*. <https://jesusrojasalvarez.blogspot.com/2013/06/san-andres-cuexcontitlan-historia-y.html>
- Sagara, B. (2018). *Resilience Measurement Practical Guidance Note Series 2 Measuring Shocks and Stresses*. 21–21.
- Schellnhuber, H. J. (1999). Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature*, 402, 19–23.
- Schellnhuber, H. J., Cutzen, P. J., Clark, W. C., & Hunt, J. (2005). Earth system analysis for sustainability. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 8, 10–25.
- Scholz, R. W., & Binder, C. R. (2003). *The paradigm of human-environment systems. Working Paper 37, Natural and Social Science Interface*. Swiss Federal Institute of Technology.
- Scholz, R. W., & Binder, C. R. (2004). Principles of humanenvironment systems research. En *iEMSs 2004 International Congress: Complexity and Integrated Resources Management* (pp. 791–796). International Environmental Modelling and Software Society.
- Siegenfeld, A. F., & Bar-Yam, Y. (2020). An Introduction to Complex Systems Science and Its Applications. *Complexity*, 2020, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2020/6105872>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Sundstrom, S. M., & Allen, C. R. (2019). The adaptive cycle: More than a metaphor. *Ecological Complexity*, 39, 100767–100767. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2019.100767>

- 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>
- Van Der Lee, J., Kangogo, D., Şeyda, & Gülzari, Ö., Dentoni, D., Oosting, S., Bijman, J., & Klerkx, L. (2022). Theoretical positions and approaches to resilience assessment in farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(27), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00755-x/Published>
- Vidal-Hernández, L. E., Avila Foucat, V. S., Arce Ibarra, M. A., Tovilla Hernández, C., & Carmona Escalante, A. (2020). Capítulo 1. Construcción de socioecosistemas costeros y retos para medir su resiliencia. En *Resiliencia de Socioecosistemas Costeros* (Primera, pp. 21–50). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Facultad de Ciencias.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5.
- Zamora-Maldonado, H. C., & Avila Foucat, V. S. (2023). *Manual: Introducción al Desarrollo de un Modelo de Dinámica de Sistemas*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/88193>

ANEXO 1. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de Figuras

Figura 1. SSE de Provisión de Agua y Electricidad de la comunidad de San Andrés Cuexcontitlán, municipio de Toluca, Estado de México. Fuente: Avila Nuñez, 2024. 15

Figura 2. SSE de montaña “Volcán Ayaquémétl”. Fuente: Marín Jurado, 2024. 16

Figura 3. Sistema socioecológico en el Ejido Los Ranchitos, Jalisco, México. Fuente: Cohen Salgado, 2024. 21

Figura 4. Sistema socioecosistémico (SSE) de los hogares del ejido Galacia, municipio de Marqués de Comillas, Chiapas, México. Fuente: Flores Pardo, 2024. 23

Figura 5. Trayectoria del SSE Copalita-Huatulco con base en el Ciclo Adaptativo: 1980-2020. Fuente: Ramírez-León et al., 2023. 28

Figura 6. Impacto de drivers de cambio en el SSE de las cuencas Copalita-Huatulco, Oaxaca, México y cada componente del SSE para las fases del Ciclo Adaptativo: fase r 1980-1996 (a), Ω 1997-2000 (b), k 2001-2014 (c) y Ω 2015-2020 (d). Fuente: Merlo-Galeazzi et al., 2024 29

Figura 7. Descripción del sistema socioecológico de Sisal con enfoque en el estudio de las dunas costeras y el impacto del turismo en ellas. Fuente: Orozco Miranda, 2024. 33

Figura 8. Metáfora de la cuenca de atracción. Fuente: Walker et al., 2004. 36

Figura 9. Secuencia teórico conceptual para medir la resiliencia socioecológica. Fuente: elaboración propia. 46

Figura 10. Diagrama del sistema socioecológico de Ixil. Fuente: Camargo Núñez, 2024. 51

Figura 11. Línea de tiempo del SSE de Ixil con los principales estresores. Fuente: Camargo Núñez, 2024. 52

Figura 12. Esquema de las hipótesis de cambio dentro del SSE de los hogares del Ejido Galacia. Fuente: Flores Pardo, 2024. 62

Índice de Tablas

Tabla 1. Conceptos clave para entender la resiliencia socioecológica..... 31

Tabla 2. Trayectoria del SSE de Sisal, Identificación de estresores o shocks..... 34

Tabla 3. Atributos de resiliencia, definición y ejemplos..... 37

Tabla 4. Estresores y shocks que han impactado al sistema socioecológico del municipio de Ixil, Yucatán
..... 53

Tabla 5. Elementos teóricos de la resiliencia socioecológico de Ixil. 55

Tabla 6. Operacionalización de variables considerando su evaluación mediante los principios de
resiliencia en el sistema socioecológico de Ixil, Yucatán, México. 56

Tabla 7. Trayectoria del Ejido Galacia, Marqués de Comillas (Chiapas) 57

Tabla 8. Principales estresores y shocks que impactaron en el SSE de los hogares del Ejido Galacia, 2019
al 2023..... 59

Tabla 9. Propuesta metodológica para evaluar la resiliencia socioecológica a nivel hogar a través de los
impactos generados por la degradación forestal en los activos y estrategias de medios de vida de los
habitantes del Ejido Galacia 63