

Proyecto EcoAdapt

Evaluación de la Resiliencia en Sistemas Socio-Ecológicos

Basado en Assessing Resilience in Social – Ecological Systems: Workbook for Practitioners (Revised Version 2.0; ResilienceAlliance, 2010) y Assessing Resilience in Social – Ecological Systems: A Workbook for Scientists (Version 1.1. Draft for Testing and Evaluation, ResilienceAlliance, 2007)

Traducción/ Interpretación/ Comentarios:

Roberto Vides-Almonacid¹

FCBC / Bosque Modelo Chiquitano / Bolivia

Junio 2012, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

¹ Director Técnico Científico de la Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano / Bolivia / Doctor en Ciencias Biológicas (UNT Argentina) - Master en Manejo de Vida Silvestre (UNA Costa Rica).
robertovides@fbc.org.bo / www.fbc.org.bo / skype: roberto.vides.almonacid

1. Introducción

La interacción entre los subsistemas sociales y ecológicos (**Sistema Socio-Ecológico o SSE**) conlleva un alto nivel de complejidad e incertidumbre. El enfoque tradicional de comando y control para el manejo de los ecosistemas (o de los recursos naturales en particular), asume un modelo estático que puede hacerlo más vulnerable debido al enmascaramiento de propiedades (o condiciones) críticas del sistema, que sólo se hacen evidentes cuando ya es demasiado tarde y el sistema cambia a un estado indeseado o colapsa. De igual modo, las soluciones que se centran en problemas individuales pueden ser exitosas al corto plazo, pero también pueden generar retroalimentación e interacciones entre las diferentes partes del sistema, que entran en juego más tarde con consecuencias impredecibles. Las intervenciones por partes (o fragmentarias) no prepara a un sistema para tratar con procesos de cambio ni con interrupciones futuras en su estructura y funcionamiento.

En contraste, un enfoque para el manejo de los sistemas naturales que toma en cuenta las influencias sociales y ecológicas a escalas múltiples y que a su vez incorpora el concepto de cambios continuos y reconoce un nivel de incertidumbre, tiene el potencial de aumentar la **resiliencia del sistema** a las perturbaciones y por lo tanto su capacidad para adaptarse a los cambios. Este enfoque *holístico* o integral en el manejo de los recursos naturales, permite mejorar de manera significativa la gestión de los Sistemas Socio-Ecológicos.

Se entiende por **resiliencia** a la habilidad (o capacidad) de un sistema para absorber los impactos antes de alcanzar un umbral, por encima del cual, el sistema cambia a un estado (o configuración) diferente (Gunderson 2000). Dicho de otro modo y de acuerdo a la definición de Holling (1973): la resiliencia es la capacidad intrínseca de un sistema para amortiguar las perturbaciones y mantener las funciones de un ecosistema (McAfee *et al* 2010).

Holling y sus colaboradores plantearon que los sistemas se mueven en cuatro fases dinámicas que interactúan a diferentes escalas espaciales y temporales, haciéndolos más *resilientes* y capaces de absorber los impactos y adaptarse a los cambios, sin colapsar. Este **ciclo adaptativo** a diferentes escalas se lo conoce como **modelo panárquico** (o panarquía; Gunderson y Holling, 2002; citado por McAfee *et al* 2010). La panarquía “describe la interacción entre cambio y resistencia y entre lo predecible e impredecible, en el desarrollo de sistemas jerárquicos con múltiples elementos interrelacionados” (McAfee *et al* 2010).

Este modelo conceptual de la panarquía es utilizado para describir la dinámica entre los sistemas sociales y ecológicos que están vinculados en ciclos continuos de crecimiento (explotación), acumulación (conservación), reorganización (liberación) y renovación (Gunderson y Holling 2002, citado por McAfee *et al* 2010). La comprensión de estos ciclos y las escalas a los cuales operan, permite identificar los puntos de apoyo (o apalancamiento) que podrían ser usados (en el contexto de la gestión de los ecosistemas) para promover la resiliencia y la sostenibilidad dentro de un sistema (McAfee *et al* 2010); por ejemplo frente a los efectos generados por la variabilidad climática, eventos extremos o cambios climáticos globales.

Por otro lado, existen evidencias que sugieren que hay una relación fundamental entre la biodiversidad, producción y resiliencia y la estabilidad en los ecosistemas forestales y que estas relaciones son importantes para el manejo adaptativo bajo **condiciones de cambio climático** (Thompson *et al* 2009). Por lo tanto, la biodiversidad en un bosque está ligada a la productividad del ecosistema, a su resiliencia y estabilidad a lo largo del tiempo y el espacio. La erosión de la resiliencia puede ser causada por pérdida de grupos funcionales (especies que cumplen funciones redundantes dentro del sistema), cambios ambientales tales como el cambio climático o por la alteración del régimen natural de perturbaciones (Folke *et al* 2004, citado por Thompson *et al* 2009).

El vínculo entre la resiliencia de los ecosistemas forestales y la **provisión de bienes y servicios** de utilidad para el ser humano, es la base para el análisis de la dinámica entre los subsistemas social y ecológico en un paisaje donde predominan los bosques (como en los **Bosques Modelo**). Aunque un bosque puede cambiar de estado en respuesta a una perturbación, el flujo de estos bienes y servicios podrían no ser alterados de manera significativa, sugiriendo que el bosque es ecológicamente resiliente, aún cuando su estructura y composición haya cambiado (Thompson *et al* 2009).

En el contexto del Proyecto EcoAdapt (*Ecosystem-based strategies and innovations in water governance networks for adaptation to climate change in Latin American Landscapes*), se prevé realizar un análisis de las relaciones entre los subsistemas social y ecológico dentro de los sitios seleccionados en cada paisaje de Bosques Modelo en Argentina, Bolivia y Chile. Para el caso del Bosque Modelo Chiquitano (Bolivia) el sitio seleccionado corresponde a la cuenca Zapocó, de más de 100 mil ha, ubicada en el municipio de Concepción (provincia Ñuflo de Chávez, departamento de Santa Cruz), en el cual convergen diferentes subsistemas socio-económicos, ecológicos y de organización espacial de los asentamientos humanos, alrededor de un servicio ecosistémico de interés común: el agua.

Se ha sugerido, para este sitio, realizar una evaluación de la dinámica del sistema social y ecológico bajo un enfoque de resiliencia, en el cual se identifiquen los componentes, atributos, relaciones entre diferentes escalas espaciales y temporales de los cambios de estado del sitio y las respuestas del sistema en el marco del ciclo adaptativo

Al ser un enfoque relativamente nuevo, no existen versiones en español que permita su aplicación práctica en los países de América Latina, por lo que la FCBC, como socio del Proyecto EcoAdapt, ha considerado necesario realizar una versión resumida e interpretada de la metodología de evaluación de la resiliencia, tomando de referencia las guías para científicos y practicantes elaboradas por la organización ResilienceAlliance (2007 y 2010), ampliada o complementada en algunos casos con referencias de otros autores que abordan tanto en lo conceptual como metodológico, el tema de la resiliencia en socio-ecosistemas.

De esta manera, la versión presentada en esta oportunidad corresponde no sólo a un resumen traducido sino a una interpretación con recomendaciones de su aplicación práctica en el contexto del Bosque Modelo Chiquitano, pero que seguramente podría ser de utilidad para los otros Bosques Modelo (Jujuy, Argentina y Araucarias del Alto Malleco, Chile) que forman parte de los sitios de

estudio del proyecto. La traducción en la mayoría del texto no es literal, por lo tanto debe quedar claro que no corresponde a una versión oficial del original publicada por los autores. Algunos diagramas de las versiones en inglés han sido redibujados y los textos traducidos, mientras que en otros casos se han copiado e integrados desde el original, pero en el texto que acompaña a la figura correspondiente, se lo explica en español.

Esta versión será presentada a los investigadores asesores del proyecto EcoAdapt para su revisión y/o mejora, con el único objetivo de aportar a los equipos de trabajo con una base de referencia lo más clara y concisa posible y, fundamentalmente, en español.

2. ¿Qué es resiliencia? Algunos conceptos básicos

La característica esencial de un **Sistema Socio-Ecológico (SSE)** es su patrón multi-escala (tanto espacial como temporal) en el uso de los recursos naturales, alrededor del cual las sociedades humanas se han organizado en una estructura social particular (distribución espacial de la población, tipos de manejo de los recursos, patrones de consumo y normas y leyes asociadas). El propósito del manejo de la resiliencia y la gobernanza basada en la resiliencia, es mantener los sistemas dentro de un estado de configuración particular que les permita continuar proveyendo (en alguna escala de tiempo socialmente establecida) los niveles deseados de bienes y servicios ecosistémicos. Asimismo, el manejo de la resiliencia apunta tanto a prevenir que el sistema se mueva hacia una configuración no deseada, desde la cual sea difícil o imposible recuperarse, o moverlo de un estado menos deseable (menos favorable para los intereses humanos) a uno más deseable (más favorable a los intereses humanos, pero sin la pérdida o erosión de su base natural, como la biodiversidad). Esto involucra manejar conceptos básicos de no linealidad, regímenes alternos y umbrales de cambio.

Debido a que muchas de las dinámicas en los sistemas son no lineales, se utiliza el concepto de **estados estables alternativos**. El estado de un sistema, en cualquier momento, es definido por los valores de las variables que constituyen el sistema. Por ejemplo, si un sistema de tierras de pastoreo está definido por la cantidad de gramíneas, arbustos y ganado, el “estado” espacial del sistema es tridimensional y sus estados alternativos estarán determinados por todas las combinaciones posibles de los valores (cantidades) de estas tres variables. La dinámica del sistema será el reflejo de sus movimientos a través de este espacio. Si considerásemos una sola de estas variables, podríamos definir claramente los umbrales de cambio (ver Fig. 1).

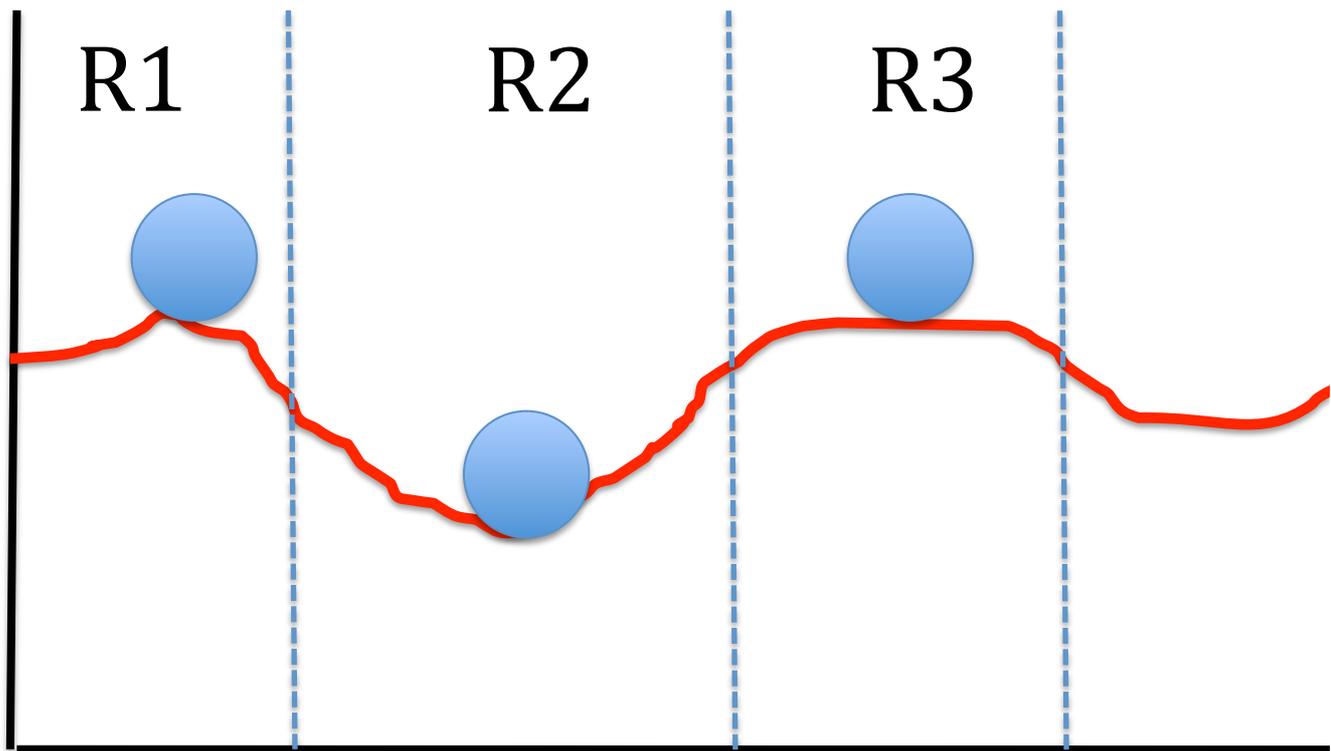


Fig. 1: Cambio de regímenes de estado (R) del ecosistema (bola azul) a lo largo de una de las variables que lo determina (por ejemplo biodiversidad, biomasa, proporción de tipos de coberturas, etc.; eje Y) y los umbrales que marcan un cambio de régimen de estado a lo largo de una dimensión temporal (eje X).

Sin embargo, los estados estables alternativos son más complejos y tridimensionales que lo mostrado en la Fig. 1. En ese sentido y usando la metáfora de las cuencas de atracción en la estabilidad de un paisaje (ver Fig. 2), el Sistema Socio-Ecológico puede existir en una o más configuraciones, de acuerdo a las variables o fuerzas que lo condicionan. Algunas configuraciones son deseables desde la perspectiva de la sociedad y otras son indeseables. Cada configuración consiste en un **conjunto de estados del sistema** que tienen esencialmente la misma estructura y función. Por lo tanto tal configuración (misma estructura y función) es denominada **régimen del sistema**.

Como los atributos sociales y biofísicos de un sistema cambian, las posiciones de los **atractores** (fuerzas de atracción) se mueven alrededor de ellos y las diversas “cuencas” de atracción se hacen más pequeñas o más grandes o aparecen y desaparecen. Los regímenes alternativos están separados por umbrales (o límites) que están definidos por los niveles de las variables de control donde ocurre un cambio en la retroalimentación. Por lo tanto, si hay cambios en la retroalimentación; hay cambios en la función y por consiguiente también en la estructura del sistema.

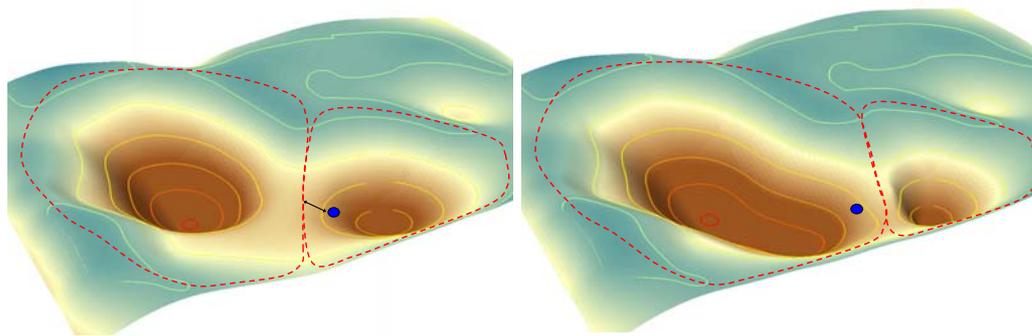


Fig. 2. Estabilidad tridimensional del paisaje con dos “cuencas” de atracción donde se muestra la posición del sistema (la “bolita” azul) y cómo se mueve el régimen del sistema cuando la estabilidad del paisaje cambia.

De esta manera, la **resiliencia es una medida de la topología** de estas “cuencas” (regímenes alternativos). Siguiendo las descripciones ya mencionadas de estados y regímenes del sistema, se define **resiliencia** a la capacidad de un sistema para absorber las perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta un proceso de cambio, a fin de retener esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentación (tanto en la introducción como más adelante hay otras definiciones complementarias, las cuales se exponen para ampliar el concepto de resiliencia).

El principal propósito de la **evaluación de la resiliencia en un SSE** es identificar los ejes (dimensiones) de la estabilidad del “paisaje” que reflejen los cambios en las variables claves del sistema. Es decir ¿Cuáles son los componentes esenciales en el sistema que determinan el flujo de bienes y servicios que son de interés a la sociedad? Con las dimensiones acordadas y definidas, el siguiente paso es identificar los atributos del sistema que determinan el tamaño y la forma de las “cuencas” (las posiciones de los umbrales o límites), la capacidad para influenciar la trayectoria del sistema en la estabilidad del “paisaje” y la capacidad de las perturbaciones externas para generar un cambio de estado.

En un bosque, la **resiliencia es una propiedad emergente** del ecosistema conferida a diferentes escalas por la biodiversidad, específicamente relacionada a la diversidad genética, diversidad de especies funcionales y la diversidad del paisaje (diversidad *beta*) a lo largo del tiempo (Thompson *et al* 2009). No todos los ecosistemas forestales son igualmente resilientes a las perturbaciones, como las generadas por el cambio climático. Esta variabilidad de capacidad de respuesta depende de las características de cada bosque. especies que lo componen, régimen natural de perturbaciones, condiciones de humedad, temperatura, evapotranspiración, tipología de suelos, etc. (Thompson *et al* 2009) y de las presiones ejercidas por los humanos sobre estos componentes (por ej. uso del suelo, aprovechamiento de los recursos maderables, uso de servicios ecosistémicos como el agua, etc.). Para incrementar la probabilidad que un ecosistema continúe proveyendo de bienes y servicios requeridos por los humanos, más allá de un disturbio, es necesario mantener la resiliencia de ese ecosistema (Holling 2001). Como ya se indicó anteriormente, la **erosión de la resiliencia** de un ecosistema

determinado reduce y hace vulnerable la provisión de servicios ecosistémicos para la sociedad (ver McAfee *et al* 2010). Esta erosión de la resiliencia se debe, por ejemplo, al cambio en el uso del suelo, sobreexplotación de los RRNN, impacto climático, alteración de los regímenes de perturbaciones naturales, pérdida de biodiversidad (especialmente de especies redundantes), entre otros factores.

La **evaluación de la resiliencia** apunta a generar recomendaciones a los tomadores de decisión respecto a las políticas vinculadas al manejo de los recursos naturales en general y a la búsqueda del desarrollo sostenible en una región determinada (como un Bosque Modelo, una cuenca hidrográfica, un municipio). Por lo tanto, esta evaluación de la resiliencia parte de las **siguientes preguntas**: **1).** ¿Qué eventos podrían conducir a resultados inesperados y no deseados en el manejo de un sistema socio-ecológico complejo? Y en el caso de existir estos eventos; **2).** ¿Son los planes estratégicos y operativos existentes de la región lo suficientemente sólidos como para enfrentar las incertidumbres del futuro? y **3).** ¿Cómo el sistema ecológico responde a las intervenciones de manejo, cambios (o variabilidad) del clima y otros factores externos y eventos extremos?

Es importante en este contexto señalar **algunos términos y conceptos básicos** para encarar un proceso de evaluación de la resiliencia (en base a ResilienceAlliance, 2007 y Thompson *et al* 2009):

Adaptación al Cambio Climático: Ajuste en los sistemas naturales o humanos como respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados, o sus efectos, que **reduce** el daño causado y que **potencia** las oportunidades benéficas (UNFCCC).

Capacidad adaptativa (a nivel de especies): La habilidad de una especie para adaptarse (vivir y reproducirse) a un determinado rango de condiciones ambientales como resultado de sus respuestas genéticas y fenotípicas (Dobzhansky 1968), establecidas como producto de la selección natural.

Ecosistema: Un complejo dinámico de comunidades de microorganismos, plantas y animales y su ambiente físico que interactúan como una unidad funcional (CBD).

Escenarios: Es un futuro posible que podría surgir bajo determinadas circunstancias. Un conjunto de escenarios posibles permite examinar los tipos de procesos y dinámicas que podrían conducir el desarrollo de las relaciones socio-ecológicas de un sistema ¡Un escenario **no** es una predicción del futuro! (ResilienceAlliance 2007).

Estabilidad: La capacidad de un ecosistema para permanecer más o menos en el mismo estado dentro de sus límites, es decir: la capacidad para mantenerse en un equilibrio dinámico en el tiempo mientras resiste al cambio. (Holling 1973).

Grupos funcionales: Conjunto de especies que desempeñan roles funcionales semejantes dentro de un ecosistema tales como polinización, producción o descomposición, que proveen cierta redundancia dentro del sistema. (Thompson *et al* 2009). Esta redundancia es fundamental para aportar capacidad de respuesta de un sistema frente a un disturbio.

Régimen y cambio de régimen: dinámica del sistema o conjunto de estados que define un “dominio de atracción”: en un régimen el sistema tiene la misma estructura esencial, función, retroalimentación y por lo tanto; **identidad**. Ocurre

un cambio de régimen cuando el sistema cruza un umbral hacia otro “dominio de atracción” (ResilienceAlliance 2007).

Regímenes “deseables” vs. “indeseables”: Significa el modo en el cual la sociedad o un segmento de la sociedad considera (o valora) el flujo de bienes y servicios de un régimen determinado del sistema *versus* un régimen alternativo (ResilienceAlliance 2007).

Resiliencia: **1.** Capacidad de un ecosistema (por ejemplo un tipo de bosque) para retornar a su estado original luego de una perturbación, manteniendo sus características esenciales de composición taxonómicas, estructura, funcionalidad ecosistémica y de procesos (Holling 1973) / **2.** La habilidad de un sistema para absorber impactos antes que un umbral de cambio de estado sea alcanzado y en el cual el sistema cambia a un estado o régimen diferente (Gunderson 2000) / **3.** Capacidad de un sistema para absorber la perturbación y permanecer con sus funciones y estructura básica y por lo tanto su identidad (reconocible de la misma manera por diferentes personas) (Walker & Salt 2006). (ver otras definiciones arriba).

Resistencia: La capacidad de un ecosistema para absorber una perturbación y permanecer en gran medida sin cambios (Holling 1973).

Servicios ecosistémicos: Los beneficios (bienes y servicios) que recibe la sociedad proveniente de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento (alimento, agua, madera, fibras, medicinas); servicios de regulación (del clima, inundaciones, enfermedades, residuos, calidad del agua); servicios culturales (recreación, disfrute estético, satisfacción espiritual) y servicios de soporte (formación de suelos, productividad primaria, ciclaje de nutrientes). (Millenium Ecosystem Assessment).

Sistema Socio-Ecológico (SSE): Un sistema integrado de ecosistemas y sociedades humanas con retroalimentación recíproca e interdependencia. El concepto enfatiza la perspectiva “humanos en la naturaleza”.

Variable de estado: variable que define el estado del sistema. Ej. en un sistema agrícola: Suelos, cultivos, ganadería, productores, carreteras, etc. En un sistema de bosques: Suelos, especies forestales, diversidad de fauna y microorganismos, polinizadores, dispersores, prácticas de manejo, asentamientos humanos, etc. En un sistema de cuenca hidrográfica: topografía, suelos, red de drenaje, cobertura vegetal, biodiversidad, tipos de uso del suelo, infraestructura de control de inundaciones, etc.

3. Marco de referencia para la Evaluación de la Resiliencia

El **enfoque de la resiliencia apunta a lograr un manejo sostenible y de largo plazo** de los recursos naturales en beneficio de las sociedades humanas. Ello implica el desarrollo e implementación de metas de manejo sin comprometer la resiliencia e integridad del sistema como un todo. Como ya se mencionó arriba, la resiliencia es fundamentalmente una propiedad de un sistema. Se refiere a la magnitud de cambio o perturbación que un sistema puede experimentar sin moverse a un estado alternativo que tenga diferentes propiedades estructurales y funcionales y que pongan en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos que benefician a la sociedad.

Algunos ejemplos clásicos de **cambio entre estados alternativos** de un sistema incluye las transiciones entre diferentes estados de un ecosistema (ver Fig. 3)

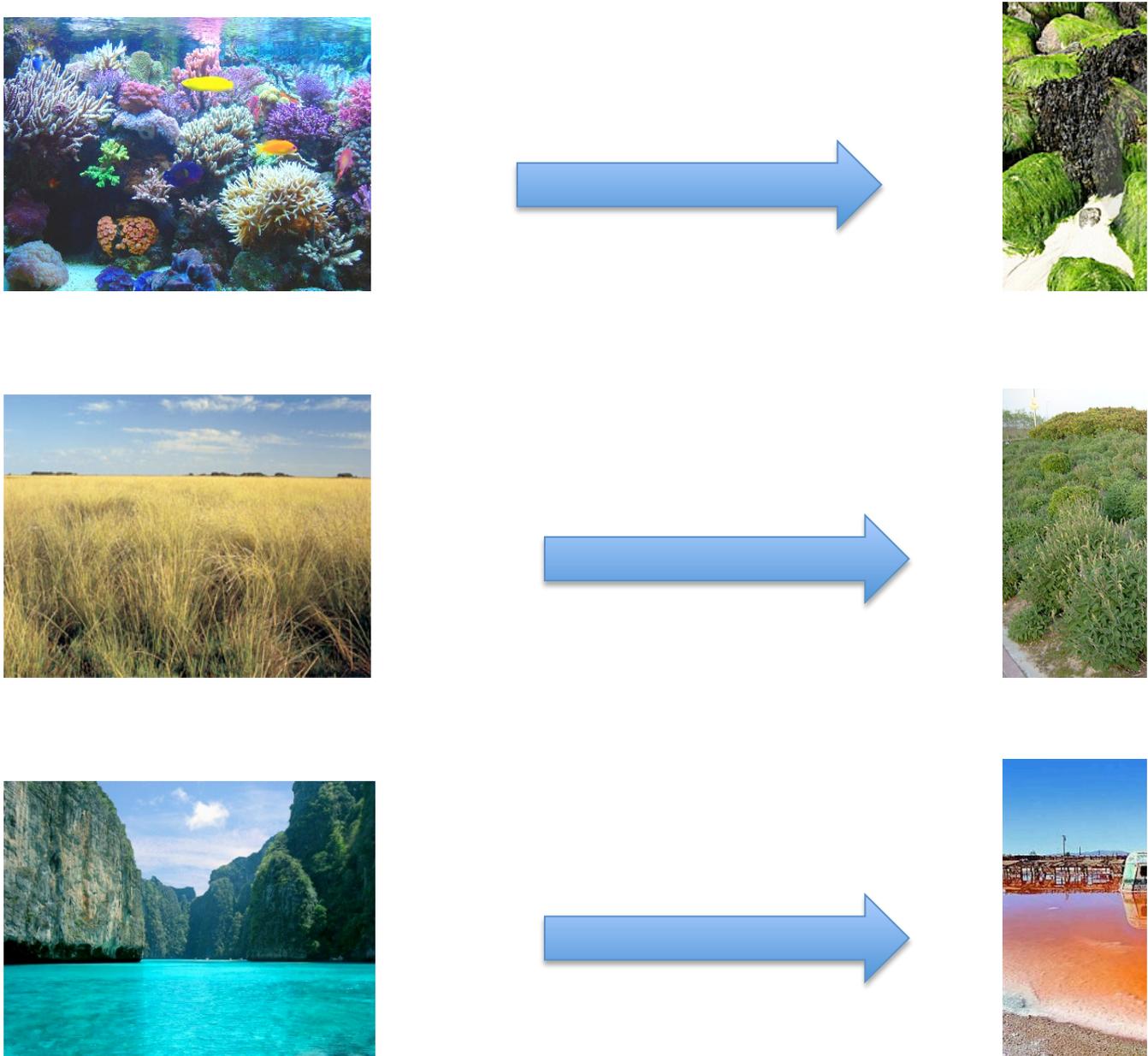


Fig. 3: Ejemplos de estados o regimenes alternativos en diferentes ecosistemas. Arriba: un arrecife de coral que cambia de estado a rocas cubiertas con algas. Medio: un ecosistema de pastizales a paisajes dominados por arbustos. Abajo: un sistema de lagos con aguas cristalinas a lagunas con aguas turbias, producto de la contaminación y eutrofización. Con estos cambios ocurren modificaciones en la **provisión de los servicios** ecosistémicos, como por ejemplo en la producción de peces, en el potencial para pastoreo de ganado, oportunidades de turismo y recreación o disponibilidad de agua potable.

La **evaluación de la resiliencia se lleva a cabo en cinco etapas** (Fig. 4). La evaluación comienza (**etapa 1**) con la descripción del sistema, tomando de referencia la pregunta ¿Resiliencia de qué y para qué?, identificando los temas claves (recursos naturales clave o asuntos sociales clave) y definiendo las escalas superiores e inferiores del Sistema Socio-Ecológico a analizar. Luego, se continúa

(**etapa 2**) con el entendimiento de la dinámica del sistema, que conduce a la elaboración de un modelo conceptual de cambio, la descripción de los múltiples estados del sistema y la identificación de umbrales (límites) de cambio de estado del sistema. Luego (**etapa 3**) se analizan las interacciones a largo de las diferentes escalas (ciclos adaptativos y panarquía), evaluando los cambios en cascada y la resiliencia general y específica del sistema. Posteriormente (**etapa 4**) se evalúan los sistemas de gobernanza desde la perspectiva de la gobernanza adaptativa y las instituciones vinculadas en la toma de decisiones, así como las redes sociales y de actores claves para, finalmente (**etapa 5**), realizar una síntesis de los resultados alcanzados con la evaluación, generar una propuesta de gestión (administración) basada en la resiliencia e inicio de su implementación en la práctica. Este ciclo es iterativo y reflexivo en cada etapa y requiere revisar lo alcanzado en las etapas anteriores las veces que sea necesario.



Fig. 4. Esquema de la evaluación de la resiliencia. Las cinco etapas constituyen un proceso iterativo y reflexivo que obliga a su revisión las veces que sea necesario hasta comprender cómo funciona el SSE y cómo hacer para manejarlo con un enfoque de resiliencia.

a). Sistemas socio-ecológicos integrados

El manejo de los recursos naturales no es solo un asunto ecológico o social. Sino que tiene múltiples elementos integrados. Estos sistemas, en los cuales interactúan componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos, entre otros, son denominados – como se señaló anteriormente - **Sistemas Socio-Ecológicos (SSE)**. El tema central para el análisis de la resiliencia es este concepto del sistema.

Como otros tipo de sistemas, un SSE está conformado por muchas partes diferentes que interactúan para constituir una entidad compleja. El enfoque sistémico es holístico debido a que no se enfoca en un entendimiento detallado de

las partes, sino de cómo los componentes claves contribuyen a la dinámica del sistema como un todo. Las partes de un SSE responden a los cambios en otros componentes, a veces disparando procesos de retroalimentación que pueden amplificar los cambios en el sistema completo o que pueden generar efectos estabilizadores. Mediante estas interacciones, los SSE se autoorganizan y pueden surgir configuraciones novedosas del sistema haciendo posible la adaptación a los cambios. Estas características de los SSE integrados pueden hacer del manejo todo un desafío, pero también crea oportunidades para la recuperación o reorganización del sistema, posterior a un disturbio.

El esquema de evaluación de la resiliencia involucra la construcción de un **modelo del SSE** de interés (por ej. el sitio o lugar del sistema, el asunto principal de manejo dentro del sistema, la gente o actores involucrados). Aunque algunas actividades o preguntas apunten a componentes individuales del sistema (por ej. tipos de suelos, actividades humanas, infraestructura, cobertura natural, etc.), constituyen insumos necesarios para entender la dinámica del sistema completo. Este modelo conceptual de un SSE integrado implica la descripción de las interacciones entre los diferentes componentes de los subsistemas social y ecológico, los tipos de cambios en los componentes, los impactos sociales y ecológicos que afectan los servicios ecosistémicos, la gente o actores involucrados, las respuestas institucionales para la gestión de SSE y los factores externos que inciden sobre el mismo. En la Fig. 5 se muestra un modelo conceptual genérico de un SSE (de la versión original de la publicación de ResilienceAlliance 2010).

En la evaluación de la resiliencia, cada una de las preguntas y actividades corresponden con una parte diferente del modelo conceptual de la Fig. 5. Una síntesis final de lo encontrado en esta descripción del sistema enmarcado en el modelo conceptual, ayuda a revelar los factores que podrían erosionar o potenciar la resiliencia en el sistema. Esta comprensión y entendimiento de la dinámica del sistema constituye la base para considerar opciones de manejo que asegure una trayectoria futura sostenible.

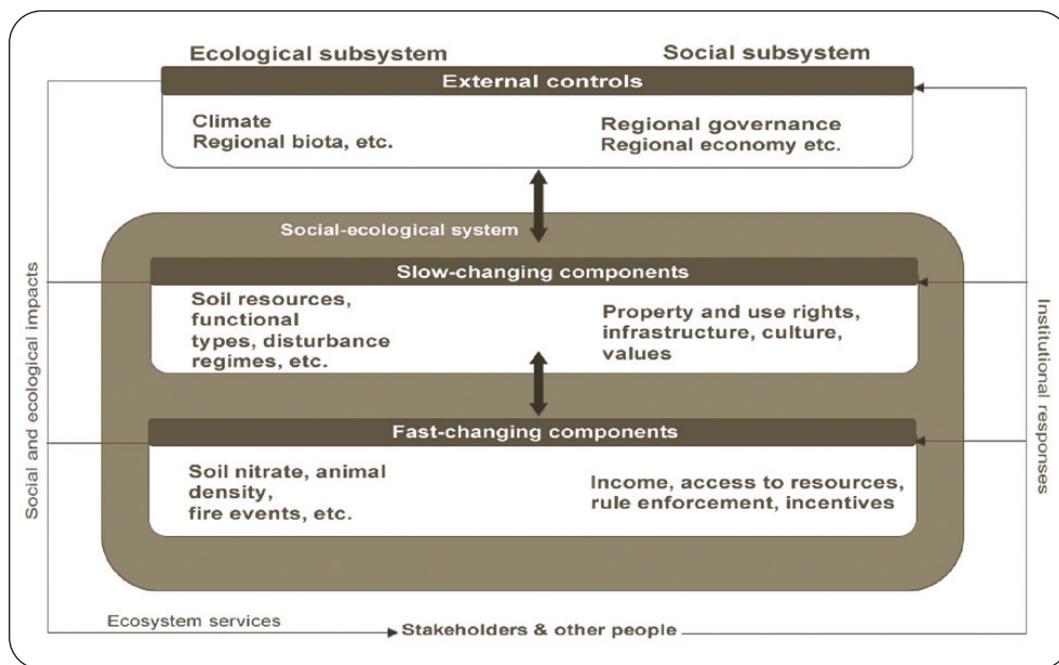


Fig. 5. Modelo conceptual de un Sistema Socio-Ecológico integrado. Los componentes ecológico y social interactúan a múltiples niveles. Los procesos externos al sistema influyen a los componentes que cambian lentamente, los cuales influyen a los componentes que cambian más rápidamente, que a su vez impactan de manera directa sobre la gente y los atributos ecológicos del sistema. La gente responde a los cambios en el sistema a través de mecanismos institucionales (normas, reglas), creando un circuito de retroalimentación que afecta los servicios ecosistémicos que generan beneficios a la sociedad. (ResilienceAlliance 2010, tomado y modificado de Chapin *et al* 2006, PNAS).

c). Estados múltiples del sistema y umbrales críticos

Los sistemas pueden cambiar en el tiempo y eventualmente moverse dentro de diferentes estados. El término **estado del sistema** se refiere a un conjunto de variables sociales y ecológicas en particular, que pueden fluctuar y crear ya sea retroalimentación estabilizante, que mantiene al sistema en un estado particular (por ej. un lago con aguas claras), o una retroalimentación amplificadora que golpea al sistema (lo empuja) hacia una nueva configuración o estado (ej. un lago con aguas turbias).

Las transiciones entre estados del sistema pueden ser lentas y graduales, mientras que otras veces pueden ser abruptas. Conociendo los umbrales de estos cambios podemos adelantarnos en tomar decisiones que frenen el cambio de estado del sistema (obviamente si este cambio es negativo en términos de integridad ecológica y de valoración social de los servicios ecosistémicos). Muchas veces la sociedad se da cuenta que un sistema cambió de estado cuando ya es demasiado tarde y el volverlo a sus condiciones adecuadas es prácticamente imposible.

La resiliencia entonces puede ser representada por la distancia entre el estado del sistema y un umbral crítico (ver Fig. 6).

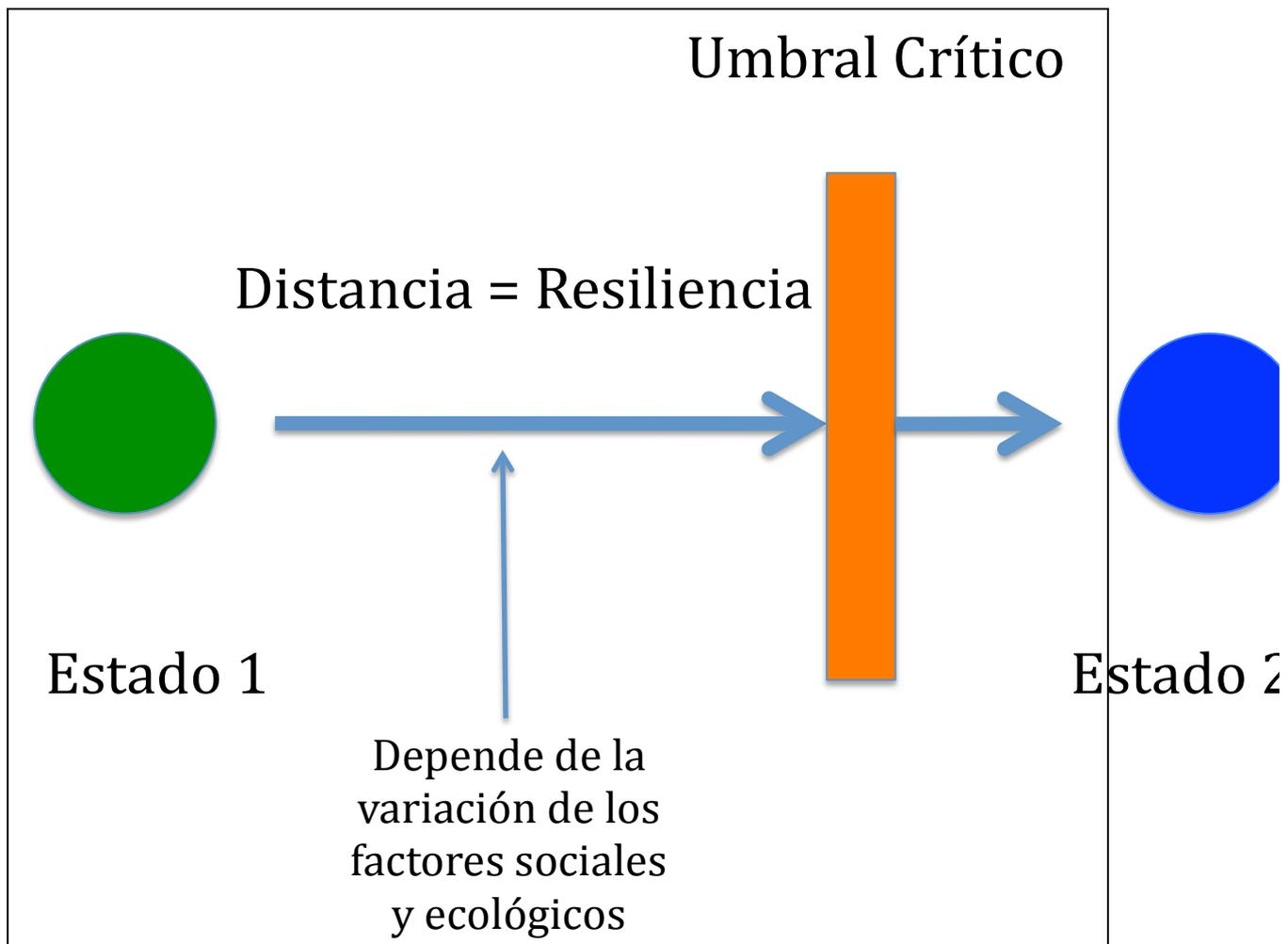


Fig. 6. Esquema que ilustra que la resiliencia está en función de la distancia entre el estado de un sistema (Estado 1) y el umbral crítico en el cual el sistema cambia de estado (Estado 2). Esta distancia depende de la variación en el tiempo en las respuestas a la variación en los factores sociales y ecológicos. Cuanto mayor distancia mayor resiliencia.

d) Ciclo adaptativo y Panarquía

Los ciclos de los sistemas

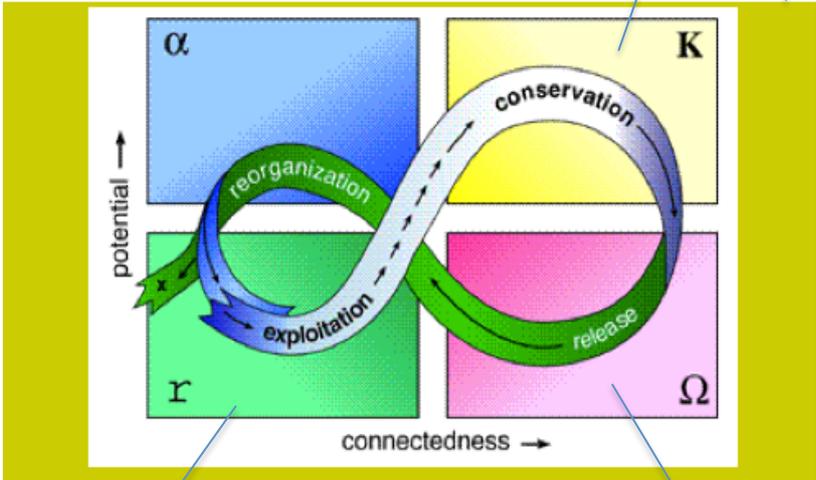
Los ecosistemas nunca están estáticos. Por lo tanto, la dinámica de los SSE pueden ser explorados usando las diversas fases de cambio que ocurren en los sistemas naturales a lo largo del tiempo. Los ecosistemas tienden a “moverse” a través de **cuatro fases:**

- r** = crecimiento rápido
- K** = conservación de recursos
- Ω** = liberación de recursos
- α** = reorganización

Este ciclo de cuatro fases se lo conoce como **ciclo adaptativo** y describe cómo el sistema cambia en el tiempo. Este ciclo adaptativo puede ser ilustrado con el régimen del fuego en los bosques (sobre todo para bosques boreales), ver Fig. 7:

Renovación a través del banco de semillas en el suelo

C
m
la
b



Rápido crecimiento de plantas colonizadoras

L
(n

Fig. 7. Ciclo adaptativo de los ecosistemas ilustrado con un ejemplo del régimen de fuegos en un bosque boreal.

Sin embargo, pueden ocurrir múltiples transiciones entre las cuatro fases y estos patrones de cambios no necesariamente se reflejan en un ciclo como el señalado en la Fig. 7. Las fases de crecimiento y conservación constituyen de manera conjunta un periodo relativamente largo de desarrollo medianamente predecible, mientras que las fases de liberación y reorganización constituyen un periodo rápido, caótico, durante el cual el capital (natural, humano, social, infraestructura y financiero) tienden a perderse y las innovaciones surgidas en el proceso pueden tener éxito.

En la Fig. 8 se muestra el ciclo adaptativo como un circuito simple con los posibles cambios entre las fases.

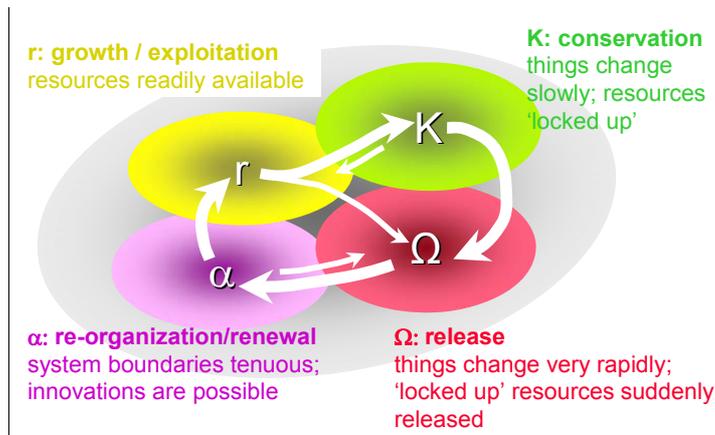


Fig. 8. El ciclo adaptativo como un circuito simple mostrando los posibles cambios entre las fases: **r** = fase de crecimiento / explotación con recursos fácilmente disponibles; **K** = fase de conservación donde ocurren pocos cambios o los cambios son lentos y los recursos están poco o nada disponibles; **Ω** = fase de liberación donde ocurren cambios muy rápidos y los recursos “bloqueados” se hacen inmediatamente disponibles y **α** = fase de reorganización / renovación donde los límites del sistema son débiles y pueden surgir innovaciones a nivel de la configuración del sistema.

Los SSE también muestran diferentes fases de cambios. El comprender cómo un sistema cambia internamente, en términos de su vulnerabilidad a la perturbación y su capacidad para responder moviéndose a través de diferentes fases de cambio, puede orientarnos para el tipo y momento de realizar determinadas intervenciones de manejo. Las acciones tomadas en una fase pueden afectar al sistema de manera muy diferente que si la misma acción es tomada en otro momento, debido a que las ventanas de oportunidad para las acciones pueden ser muy cortas.

Es importante destacar el uso de los símbolos **r** y **K** para ilustrar estas fases del ciclo en los ecosistemas. Estos símbolos derivan de la teoría de selección **r vs K**; la cual predice que las fuerzas de la evolución operan en dos direcciones diferentes: **r** y **K** en relación con la probabilidad de supervivencia de individuos de diferentes especies de plantas y animales (estos términos algebraicos se derivan de la ecuación diferencial de P. Verhulst, o modelo logístico, de la dinámica de poblaciones) (ver Fig.9). El **r** representa la estrategia de aquellas especies que tienen rápido crecimiento y que constituyen colonizadores eficientes (por ejemplo las gramíneas, los roedores, las plantas heliófitas en los claros del bosque, etc.) y corresponde a la tasa intrínseca de crecimiento natural. Las especies se encuentran en la primera etapa de la curva de crecimiento (modelo exponencial), por eso se reproducen rápidamente, a “campo libre”. El término **K** simboliza la asíntota de la curva sigmoidea de crecimiento demográfico (del modelo logístico) cuando una población alcanza su capacidad de carga (**K**) y en general se trata de especies longevas, con baja capacidad reproductiva (bajo **r**).

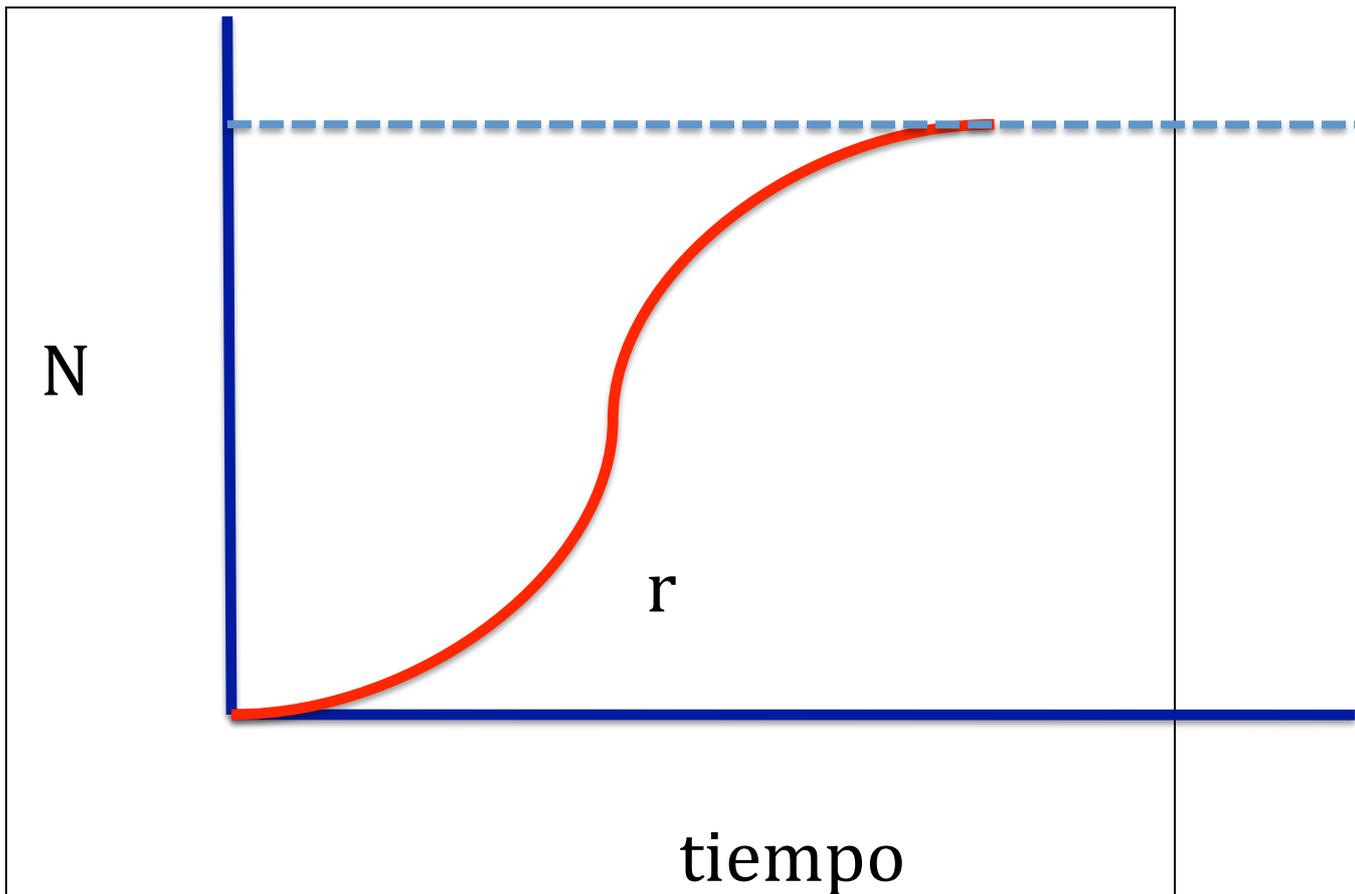


Fig. 9. Modelo logístico de crecimiento poblacional. N es el tamaño de la población vs el tiempo. La curva es el comportamiento demográfico de una población desde que inicia su crecimiento (a partir de una primera colonización). La primera fase de esta curva responde a la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) de la especie de la que se trate la población y corresponde a un crecimiento exponencial. K es la asíntota de la curva que representa la capacidad (espacio, recursos, competidores, etc.) del ambiente o la resistencia que el ambiente ejerce sobre la población que desacelera su crecimiento hasta alcanzar este límite.

Por extensión, aquellas poblaciones que responden más a su tasa intrínseca r (tienen espacio y “libertad” para crecer) se las denomina estrategias r (o “ruderales”) y aquellas que se mantienen fluctuando alrededor de la línea K de capacidad de carga del ambiente, se las denomina estrategias K (o “tolerantes de stress”). Buenos ejemplos de estas últimas son los grandes herbívoros y carnívoros y los árboles de lento crecimiento. Analógicamente, la **fase r** del ciclo adaptativo de los SSE corresponde a esta etapa de colonización y rápido crecimiento y la **fase K** a aquella que acumula su capital, biomasa, energía, etc y tiene baja tolerancia al stress.

Escalas y Panarquía

Ningún sistema puede ser entendido o manejado si se enfoca en una sola escala. Todos los sistemas (especialmente los SSE) existen y funcionan a **múltiples escalas** de espacio, tiempo y organización social. Las interacciones entre estas escalas es importante en determinar las dinámicas del sistema e cualquier escala focal particular.

Los SSE se conectan a diferentes escalas de manera jerárquica (ver Fig. 10). Esta configuración de ciclos adaptativos ligados a múltiples escalas, es lo que se conoce

como **Panarquía**. Lo que ocurra en el sistema a una escala puede afectar lo que ocurre a otra escala. El manejo de los SSE requiere entonces entender qué es lo que ocurre a escalas múltiples y cómo el sistema focal responde a las limitaciones impuestas por el sistema a una escala mayor o a las innovaciones surgidas en las escalas menores.

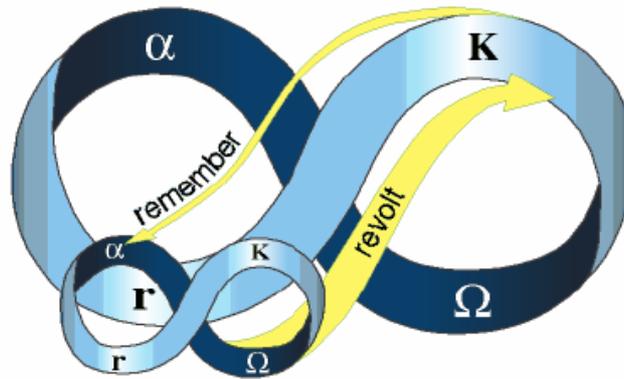


Fig. 10. Diagrama de la Panarquía: El diagrama ilustra la interacción de ciclos adaptativos “anidados” con influencias a través de diferentes escalas. Una etapa del ciclo en una escala (por ejemplo de la escala mayor representada por el circuito más grande), puede tener efectos positivos hacia otra escala (el circuito menor o “anidado”) por ejemplo en la provisión de memoria y subsidios que contribuyan a la renovación del sistema, pero también negativos.