

**EL PAISAJE SOCIOECOLOGICO, MODELADO GEOESPACIAL Y ANALISIS
DE VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMATICO GLOBAL**

**DANIEL LÓPEZ L.
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFIA Y GEOMATICA
I. J. L.TAMAYO A.C.**

MEXICO, JUNIO 2013

RESUMEN

La vulnerabilidad del paisaje ante cambio ambiental global es un problema complejo de naturaleza multiescalar, por lo cual requiere que en su análisis y evaluación se haga una consideración explícita del papel de los patrones espaciales en relación con los procesos del cambio ambiental global. En este capítulo se propone el concepto de paisaje socio ecológico como marco para el análisis espacio temporal de la vulnerabilidad. En este concepto se trata de integrar varios desarrollos teóricos relacionados con los sistemas socio-ecológicos y con las recientes teorías y conceptos de la ecología del paisaje. Con base en el concepto paisaje socio-ecológico se presenta una propuesta de cómo integrar en un modelo Geoespacial jerárquico de representación del paisaje los diferentes componentes del sistema socio-ecológico, de tal manera que se integren en dicho modelo de una parte los tres elementos que definen la complejidad del paisaje a saber: lo espacial, lo organizacional y lo temporal, y de otra parte se integren los diferentes dominios que conforman la vulnerabilidad (social, económico, cultural, ecológico). El concepto de paisaje socio-ecológico como marco para el análisis de la vulnerabilidad puede entenderse como un enfoque apropiado para abordar problemas socio-ambientales, desde la perspectiva espacial, en donde la integración de información es un requisito fundamental. Dicho concepto, al estar centrado en el acoplamiento jerárquico del sistema, provee un fundamento para realizar un análisis jerárquico de la vulnerabilidad. Por su parte, el modelo geoespacial del paisaje propuesto puede constituirse en la plataforma básica ideal para la construcción e integración de diferentes modelos y técnicas de análisis, de tal manera que se puedan incorporar elementos de la complejidad espacial que presenta la vulnerabilidad del sistema.

INTRODUCCION

El *Paisaje Socio-Ecológico* definido como un sistema complejo, que es el resultado de una interacción continua entre los seres humanos y los sistemas naturales, en el que su complejidad se debe no solo a la interacción entre estos sistemas que son en sí mismos complejos, sino además, a un acoplamiento en las dimensiones espacio-tiempo-organización.

Es ampliamente reconocida la naturaleza multiescalar de la vulnerabilidad del paisaje ante el cambio ambiental global. El paisaje sobre el cual inciden las múltiples tensiones y perturbaciones está constituido por un complejo sistema multifuncional y jerárquico resultado de interacciones y acoplamientos en las dimensiones espacio - tiempo - organización, entre el sistema natural y el sistema socio-económico-cultural; de dichas interacciones emergen en el paisaje diversos patrones espacio-temporales de vulnerabilidad/resiliencia. Por ello el análisis y evaluación de la vulnerabilidad requiere una consideración explícita del papel de los patrones espaciales en relación con los procesos del cambio ambiental global, no obstante, esta ha sido una de las omisiones en el diseño de escenarios de vulnerabilidad.

En este capítulo se propone el concepto de paisaje socio ecológico como marco para el análisis espacio temporal de la vulnerabilidad. Este concepto se trata de integrar varios desarrollos teóricos relacionados con los sistemas socio-ecológicos y con las recientes teorías y conceptos de la ecología del paisaje. Con base en el concepto paisaje socio-ecológico se presenta una propuesta de cómo integrar en un modelo Geoespacial jerárquico de representación del paisaje los diferentes componentes del sistema socio-ecológico, de tal manera que se integren en dicho modelo de una parte los tres elementos que definen la

complejidad del paisaje a saber: lo espacial, lo organizacional y lo temporal, y de otra parte se integren los diferentes dominios que conforman la vulnerabilidad (social, económico, cultural, ecológico). El capítulo comprende cinco secciones, en la primera se hace referencia a la naturaleza multiescalar y jerárquica de los procesos e impactos relacionados con el cambio ambiental global; en la segunda sección se revisa el concepto de paisaje socio-ecológico; en la tercera sección se analizan las interacciones sociedad naturaleza a la luz de la teoría de la complejidad; en la cuarta sección se propone el paisaje socio-ecológico como un marco conceptual para el análisis espacio-temporal de la vulnerabilidad; y en la última sección se propone y discute una propuesta de cómo integrar en un modelo Geoespacial jerárquico de representación del paisaje los diferentes componentes del sistema socio-ecológico, para el análisis de la vulnerabilidad ante el cambio climático global. Al final de esta sección se presentan algunas reflexiones sobre el significado del concepto de paisaje socio-ecológico y del modelo Geoespacial propuesto para el análisis de la vulnerabilidad al cambio ambiental global, como un problema espacio-temporal complejo.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO AMBIENTAL GLOBAL

El término cambio climático se ha situado en el tope de la agenda de las discusiones científicas; sin embargo, al lado de este tema ha evolucionado en la discusión científica el concepto de Cambio Ambiental Global, el cual a menudo se ha mezclado o confundido con el cambio climático. Muchos cambios en el sistema terrestre implican directamente cambios en clima, sin embargo, algunos cambios pueden tener consecuencias significativas sin afectar el clima. Se entiende por Cambio Ambiental Global a la integración de los problemas

ambientales causados por hechos que tienen su origen en las actividades humanas y que dependen de la cantidad de la población planetaria, su nivel de consumo - en particular energético- y la elección de las tecnologías. Estas causas son las que conducen, entre otras, al calentamiento terrestre, el adelgazamiento de la capa de ozono, a la modificación de la biodiversidad, a la degradación de las tierras (incluye desertificación) y/o disminución de agua, aire, minerales, tierras (Perczyk D, et al., 2004, Kienberger S and. Zeil P., 2006).

De acuerdo con McAlpine C.A., et al., (2010) “a escala local y regional, las presiones de la utilización no sustentable del suelo son iguales o aún más importantes que el cambio de clima detonado por CO₂ a una escala más grande. Según estos autores es crítico abordar concurrente y proactivamente el cambio climático y problemas de sustentabilidad ambiental, adoptando una evaluación complementaria y preventiva de la vulnerabilidad de recursos naturales críticos y no esperar hasta que se haya resuelto el problema del CO₂”. Plantean que se requiere un nuevo paradigma en la política, en el cual la utilización del suelo, cambio en la utilización del suelo, la silvicultura, la biodiversidad y el desarrollo económico y social sustentable se reconozcan como componentes integrales de las estrategias de mitigación y de adaptación del cambio climático.

En relación a la naturaleza multiescalar y jerárquica de los procesos e impactos relacionados con el cambio ambiental global, hay un acuerdo generalizado en la investigación científica, por lo tanto demanda que en su análisis, en este caso de la vulnerabilidad, la investigación aborde cuestiones claves de dinámica, escalas (espacial, temporal, funcional) y niveles, (Easterling and Polsky, 2001; Gibson C. C., Ostrom E., Ahn T.K. 2000; Kay, J, 2001; Turner et al., 2003; Adger et al 2004; Giampietro M. and Ramos-

Martin J. 2004; McMahon G., and others, 2005; Schneider, S.H., et al., 2007; Fussel H., 2007; Hovelsrud G. K et al., 2008; Miller C., 2009). De acuerdo con Berkes et al. (2003) “la importancia universal de las conexiones trans-escalares en los sistemas socio-ecológicos (SSE) hace relevante estudiarlos en múltiples escalas temporal y espacial, porque diversas percepciones y respuestas emergen en cada escala”. Las escalas, los límites espaciales, el anidamiento jerárquico, y la dimensión temporal de las investigaciones científicas en el campo de la vulnerabilidad, pueden no ser las que se requieren para comprender y apoyar problemas específicos de manejo, en diferentes escalas y niveles.

Al considerar la complejidad de las interacciones de los factores detonantes del cambio ambiental global, así como las del sistema sobre el cual operan, el modelado, representación y análisis espaciotemporal de la vulnerabilidad al cambio ambiental global, plantean la necesidad de nuevas construcciones teóricas que vinculen las disciplinas naturales y sociales, y una selección cuidadosa de métodos de investigación para lidiar con su naturaleza compleja, multiescalar (espacial, temporal y organizacional) y multinivel. En este sentido se propone que el paisaje socio-ecológico sea el eje central conductor que sustente la construcción de modelos de conocimiento y geográfico para el análisis espaciotemporal de la vulnerabilidad

DE LOS SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS AL PAISAJE SOCIO-ECOLÓGICO COMPLEJO

Los SSEs son sistemas estrechamente interconectados en los cuales los sistemas sociales interactúan a través del espacio-tiempo con los sistemas naturales (Folke, 2007), se caracterizan por un comportamiento no lineal, sistémico, dinámico, con propiedades de auto-

organización y múltiples estados. El reconocimiento cada vez mayor de que las acciones humanas están amenazando al sistema terrestre que sostiene la vida, ha generado recientemente una sensación de urgencia en abordar dichos sistemas de una manera más integral (Berkes et al. 2003, Folke 2007, Young and others 2006, Liu J., et al. 2007). El concepto de SSE se plantea como un enfoque útil que permite enmarcar y entender la dinámica compleja y las interrelaciones, a través de escalas espacio-temporales y de niveles, entre los sistemas sociales y ecológicos, que determinan la vulnerabilidad de la población y ecosistemas al cambio ambiental global (Cundill, G., Fabricius, C., Marti, N. 2005; Hovelsrud G. K et al., 2008).

La propuesta del estudio y manejo de los sistemas sociales y ecológicos como un solo sistema integrado ha sido desarrollada desde la perspectiva de la ecología del paisaje. Esta corriente plantea un nuevo paradigma en el cual convergen nuevas teorías y conceptos (Mattheus and Selman, 2006). Se plantea que el eje central conductor que sustente la construcción de modelos de conocimiento y geográfico para el análisis espacio-temporal de la vulnerabilidad sea el *Paisaje como un Sistema Socio-ecológico*. Con este concepto se busca que los paisajes sean vistos, estudiados y manejados no solo desde las dimensiones ecológica/funcional y geográfica-espacial, sino que deben ser tratados en un contexto holístico¹ más amplio de sistemas complejos integrados de hombre y naturaleza, denominado Ecosistema humano Total (Naveh Z. ,2004), paisaje cultural (Farina, 2005; Taylor, 2009; Schaich H., Bieling C. & Plieninger T., 2010), paisaje diseñado (Musacchio L.R., 2009). En

¹“De acuerdo al holismo, el paisaje se debe considerar como un todo complejo que es más que la suma de sus componentes, lo que indica que todos los elementos en la estructura espacial están relacionados los unos con los otros y forman un sistema complejo” (Antrop, 2006)

estas aproximaciones subyace un elemento común, se considera que los componentes social, económico y biofísico considerados por separado, pueden cada uno proveer solo un entendimiento parcial de los problemas socio-ambientales, y que los tres aspectos se deben tomar en su conjunto para lograr una comprensión completa de los mismos (Berkes et al. 2003). Zonneveld I. S. (1989), propuso el concepto de paisaje con la diferencia que en los enfoques actuales se hace una referencia más explícita y extensa del papel del ser humano dentro del mismo. Se pretende con esta visión incorporar en el estudio y análisis de la vulnerabilidad una consideración explícita del papel de los patrones espaciales en relación con los procesos del cambio ambiental global; ha sido esta una de las omisiones más obvias en relación con el paisaje, en el diseño de los escenarios de evaluación del milenio (Opdam P., Luque S., Jones K. B. 2009).

(Liu et al., 2007) considera al *Paisaje Socio-Ecológico* un sistema complejo, que es el resultado de una interacción y coevolución continua entre los seres humanos y los sistemas naturales, en el que su complejidad se debe no solo a la interacción entre estos sistemas que son en sí mismos complejos, sino además, a un acoplamiento en las dimensiones espacio-tiempo-organización. Los investigadores de la corriente del Paisaje Socio-ecológico postulan que la complejidad del paisaje es el resultado de un acoplamiento que se manifiesta en la escala organizacional - jerárquica (lo que implica efectos recíprocos, retroalimentaciones, efectos indirectos y propiedades emergentes), en la escala espacial (implica heterogeneidad, acoplaje a través de niveles espaciales anidados desde lo local a lo global y acoplaje mas allá de los límites) y en la escala temporal (implica efecto de intervalos de tiempo, herencias, incremento en la velocidad y escala, aumento del impacto de las

actividades humanas en los sistemas naturales). Este acoplamiento ha evolucionado desde interacciones directas a más indirectas, de conexiones contiguas a más distantes, desde el nivel local al global, y desde patrones y procesos simples a cada vez más complejos. Esta gran *complejidad* del paisaje socio-ecológico plantea un enorme desafío, pero también una oportunidad para los distintos enfoques disciplinarios que tratan de abordar el estudio de patrones y procesos del paisaje.

LA COMPLEJIDAD Y EL ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES SOCIEDAD - NATURALEZA

El tema de la complejidad está hoy en el centro de la atención teórica y empírica (Kauffman 1995; Kay et al., 1999; Manson 2001; Easterling W. E. y Kok K., 2002; Green David G., Sadedin Suzanne. 2005; Kolasa J., 2005; Cadenasso M.L., Pickett S.T.A. and Grove J.M. 2006; Manson, S. M. y O'Sullivan D.,2006). Existen varias tipologías de la complejidad, así, Kauffman (1995) plantea que ésta puede ser estática, dinámica, evolutiva, o estar asociada con la *auto-organización*, y considera a esta última, como el concepto más relevante para el análisis de las interacciones sociedad- naturaleza.

Manson (2001) define la *complejidad agregada* como “el estudio de cómo los elementos individuales trabajan en armonía para crear sistemas complejos con estructura interna relativa a un entorno circundante, al tiempo que exhiben aprendizaje y emergencia”. Manson, S. M. y O'Sullivan D. (2006), esbozan que en el estudio de los sistemas humanos y naturales dentro de un marco interdisciplinario, la complejidad, y en particular *la complejidad agregada*,

constituye para la investigación del espacio y lugar nuevos desafíos y oportunidades. Dicen estos autores, “la complejidad, cuando se le relaciona con la investigación basada en el espacio y lugar, ofrece una nueva manera de abordar el problema, centrando la atención en la importancia de la escala para la generalización y la especialización; en lugar de defender la primacía de una escala particular, la complejidad ofrece nuevas maneras de afrontar el proyecto geográfico de comprender la escala, tanto como un marco para el análisis y como un enfoque teórico”.

Según Asah S. T. (2008) la única posibilidad de comprender y modelar los sistemas complejos es que detrás de la intrincada dinámica exhiban algunos principios de organización.

Easterling W. E. y Kok K. (2002) consideran que con relación a la complejidad existen tres tipos de sistemas: a) sistemas simples, que consisten de un pequeño número de elementos que se pueden entender estructuralmente y modelar mecánicamente, representan una simplicidad organizada; b) Sistemas con un gran número de agentes, con interacciones aleatorias y que dada la agregación a altos niveles son predecibles en un sentido estadístico, representan una complejidad desorganizada; y c) Los SSEs que se encuentran entre la simplicidad organizada y la complejidad desorganizada, representan *la complejidad organizada*.

Farina A. (2006) con respecto a la complejidad del paisaje, plantea: “si se considera a la complejidad como una cualidad intrínseca del paisaje y que dicha *complejidad* se manifiesta de *manera organizada*, para entender dicho sistema es necesario centrarse en *el nivel de organización*”.

De acuerdo con Liu (2002) para el análisis de las relaciones entre los sistemas humanos y naturales se requiere un *nuevo paradigma* que se centre en *el acoplamiento jerárquico* de estos sistemas a través de escalas organizativa, espacial y temporal. Dice este autor “ el enfoque no es un análisis a mayor escala (como los esfuerzos de modelaje a escala global), sino más bien, hacer énfasis en la anidación de los sistemas locales en sistemas regionales y globales, en los efectos acumulativos de los procesos locales sobre los procesos globales, en el acoplamiento diferencial de los sistemas humanos y naturales en cada escala, en la incorporación de los procesos de menor escala en los procesos de mayor escala, y en la influencia de los procesos de mayor escala en los procesos de menor escala”.

De acuerdo con Manson (2001) “el principal valor de la *complejidad organizada* es su desafío frente a las condiciones convencionales de estabilidad y cambio de los sistemas, es decir, considera a los sistemas complejos con una estructura interna y un ambiente en constante cambio”. Esta visión refuerza la importancia de considerar el tiempo como una de las dimensiones en el modelado y análisis de la vulnerabilidad.

Con base en la anterior revisión, y considerando que uno de los elementos centrales en la investigación sobre vulnerabilidad es el análisis multiescalar y jerárquico (multinivel), se propone abordar el modelado y análisis del *Paisaje Socio-Ecológico*, desde la perspectiva de la *complejidad organizada*² que presenta dicho sistema. Esto implica que la atención se centra en *su nivel de organización*, además de otros atributos claves propios de estos sistemas

² En general corresponde a la *complejidad agregada* a que se refiere Manson (2001). En esta investigación se prefiere el término *organizada*, ya que hace referencia explícita a una característica fundamental de los sistemas complejos, la *auto-organización*.

como son: la influencia del contexto espacio-temporal, las relaciones entre entidades y entre niveles, el comportamiento emergente y la memoria e historia del sistema.

EL PAISAJE SOCIO-ECOLÓGICO UN MARCO CONCEPTUAL PARA EL ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO AMBIENTAL GLOBAL

En el concepto que aquí se propone, el *Paisaje Socio-Ecológico complejo* con organización jerárquica, se trata de integrar varios desarrollos teóricos, un primer grupo relacionado con los SSEs complejos (Berkes et al. 2003; Folke 2007; Liu J. et al., 2007; Ostrom E., 2009); en este caso el paisaje se le entiende como la inserción del Sistema Socio-ecológico Complejo en la dimensión espacio-tiempo (ver figura 1). Un segundo grupo relacionado con las recientes teorías y conceptos de la ecología del paisaje que convergen alrededor de un nuevo paradigma denominado paisaje socio-ecológico (Naveh Z. ,2004; Mattheus and Selman, 2006; Ryan G. J., Ludwig J. A. and Mcalpine C. A., 2007; Schaich H., Bieling C. & Plieninger T., 2010); y un tercer grupo, en donde la complejidad del paisaje se explica desde la perspectiva de la teoría de la biocomplejidad (Thompson et al., 2001; Cadenasso M.L., Pickett S.T. A. and Grove J. M. 2006), dicha teoría considera al paisaje como una de las posibles dimensiones en la que se observa la complejidad del planeta.

El análisis de la vulnerabilidad ayuda a identificar los lugares, la población y los ecosistemas que sufrirán más debido a la variabilidad y cambio ambiental, e identifica las

causas subyacentes al examinar los aspectos relacionados con la interacción entre factores humanos y ambientales; el análisis de estos aspectos requiere de conceptos y aproximaciones que se ocupen de estos objetos como campos de estudio. Sobre esta base se incluyen los conceptos de servicios ecosistémicos o socio-ecoservicios y los sistemas de producción, los primeros vistos desde la perspectiva de la funcionalidad del paisaje y los segundos desde la perspectiva de la sociedad, como ésta hace uso de los servicios provistos por el paisaje. Con estos conceptos se conforma así una visión integral del paisaje, estas son dos nociones fundamentales y claves que sirven de conexión entre los sistemas naturales y sociales, y por lo tanto permitirán analizar y entender las interrelaciones entre estos sistemas. Si se tiene en cuenta que el sistema que se está analizando, corresponde más a un “paisaje cultural“, donde una particularidad de este es que los servicios que proporcionan están basados cada vez menos en ecosistemas no disturbados, sino más bien en aquellos con una historia compleja y extensa de asentamientos humanos y utilización del suelo (Schaich H., Bieling C. & Plieninger T., 2010) se propone aquí el término “socio-ecoservicios”, con la idea de dar mayor relevancia a la acción humana como factor formador del paisaje.

Por otra parte, el concepto de *Sistemas de Producción* (sistemas agrarios, sistemas de uso de la tierra, según el nivel jerárquico de análisis) integra un amplio rango de condiciones socio-económicas, socio-políticas, socio-culturales y ecológicas bajo las cuales el ser humano hace uso del paisaje. El contar con una representación espacio-temporal que integre estos componentes, constituirá un punto de partida para el análisis de la vulnerabilidad del paisaje, tanto de la situación actual, del futuro venidero, así como del pasado. Especial importancia merece el entendimiento de los cambios en el uso del suelo del pasado, los cuales son en parte responsables de los patrones de vulnerabilidad actual (a través de su efecto en la sensibilidad del sistema), además pueden ser el punto de partida para predecir y entender el

cambio y vulnerabilidad del futuro. Coincide esta visión con el concepto de paisaje que plantean Bastian, Kronert and Lipsky (2006) “el paisaje incluye las influencias del hombre sobre las unidades biofísicas mediante modificaciones en el uso del suelo, es decir, el paisaje representa las interacciones entre la estructura primaria (unidades biofísicas conformadas por procesos naturales), el uso del suelo y otras actividades humanas”, ver figura 1.



Figura 1. El paisaje Socio-Ecológico. Fuente: Adaptado y modificado de: Ostrom E., 2009; The Resilience Alliance, Anderies et al., 2004; Mattheus and Selman, 2006; Cadenasso M.L., Pickett S.T.A. and Grove J.M. 2006; Zonneveld I. S., 1989.

Especial relevancia tiene el concepto de *paisaje*, el cual considera de manera explícita el espacio como dimensión física de procesos y patrones (el arreglo espacial de los objetos) confiriéndole la importancia que tiene tal espacialidad para el funcionamiento de todo el sistema (Farina, 2005). En este contexto, el paisaje, en su acepción más simple, es un trozo

concreto de tierra, o agua o ambas, bien definidos en espacio y tiempo a lo largo de varios niveles, y como tal sirve como la matriz espacial y funcional y como el espacio vivo para todos los organismos (incluyendo seres humanos), sus poblaciones y ecosistemas (Carmel Y. and Naveh Z., 2002), o como un marco espacialmente organizado, o unidad de análisis para evaluar las relaciones entre las actividades humanas y el cambio ambiental (Buck L. E., Milder J. C., Gavin T. A., Mukherjee I. 2006). Un planteamiento muy similar lo hacen Mattheus and Selman (2006) al considerar que el paisaje cada vez más es visto como una entidad holística y multifuncional, la cual provee un marco conceptual para la gobernanza y el estudio interdisciplinario de unidades espaciales. Según estos mismos autores en las últimas décadas el paisaje se le considera desde una perspectiva más amplia como espacios, lugares y redes, donde se integran las funciones de los servicios ecosistémicos, y por lo tanto puede servir como un marco para la captura y análisis de datos y diseño de políticas.

Acorde con lo que plantean Hunziker M., Buchecker M. and Hartig T. (2007) “especial importancia tiene la doble percepción del paisaje, como espacio y como lugar, donde si bien un uso importante del paisaje es como espacio físico para vivir, también lo es como lugar con sus significados y contribuciones a la identidad social”. Según estos autores, éste aspecto social de la investigación del paisaje será importante por dos razones principales: Primero, una comprensión completa de los sistemas ecológicos del paisaje, debe considerar que los seres humanos desempeñan un papel importante en el sistema, y en segundo lugar, el desarrollo sostenible implica más que aspectos del equilibrio ecológico; tiene como objetivo asegurar a largo plazo la satisfacción de las necesidades materiales e inmateriales de la población. En resumen, para hacer frente a la complejidad que representa el paisaje, se

encuentra útil la referencia a las dos formas de percepción del paisaje, una como espacio y otra como lugar, a las cuales se le asignan pesos muy diferentes dependiendo de nuestra herencia biológica y de nuestro historial psico-sociocultural respectivamente.

MODELADO GEOESPACIAL DEL PAISAJE

Con base en el concepto de Paisaje Socio-ecológico antes descrito, a continuación se presenta una propuesta de cómo integrar en un modelo Geoespacial jerárquico de representación del paisaje los diferentes componentes del sistema socio-ecológico, de tal manera que se integren en dicho modelo de una parte los tres elementos que definen la complejidad del paisaje a saber: lo espacial, lo organizacional (jerárquico) y lo temporal, y de otra parte se integren los diferentes dominios que conforman la vulnerabilidad (social, económico, cultural, ecológico). Es decir, se trata de construir unidades espaciales homogéneas, arregladas en una estructura jerárquica anidada, conformada ésta por una estructura vertical que se compone de niveles y una estructura horizontal que consiste de holones o subsistemas. Este modelo será la base para la recopilación de información, generación de bases de datos científicas y del desarrollo de mejores técnicas de análisis espacio-temporal en términos de extracción de contenido de información e identificación de patrones espacio-temporales.

La conformación del modelo Geoespacial es un gran desafío, ya que si se quiere construir un modelo jerárquico que represente, así sea una parte de la complejidad del paisaje

socio-ecológico, se debe intentar acoplar en la estructura jerárquica una correspondencia mínima de los diferentes dominios que conforman el paisaje socio-ecológico en los diferentes niveles considerados. En esta propuesta se considera que el paisaje socio-ecológico puede estar conformado por las siguientes unidades-dominio: hidrológicas, político-administrativas, de paisaje y socioeconómico-culturales. En la figura 2 se plantea una propuesta de cómo estas unidades-dominio se pueden acomodar en los diferentes niveles de análisis, en la figura 3 se muestra cómo se integran dichos dominios en una sola estructura jerárquica piramidal de cuatro caras.

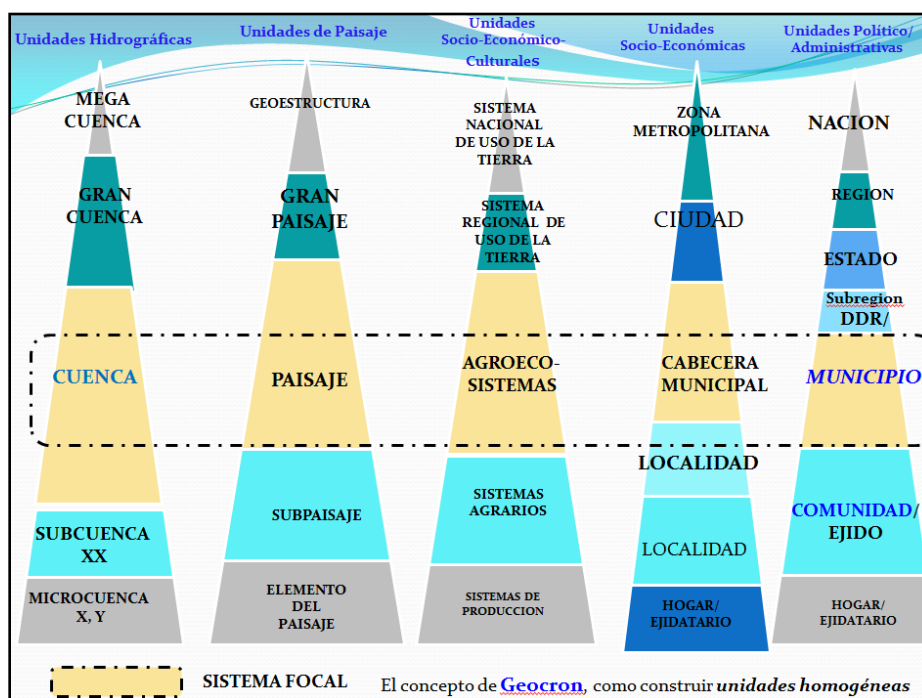


Figura 2. Organización jerárquica de unidades-dominio: hidrológicas, político-administrativas, de paisaje y socioeconómico-culturales

Dado que cada uno de los dominios considerados alberga procesos y patrones con diferente alcance espacial y temporal, no se debe esperar una correspondencia precisa de los mismos en los diferentes niveles analizados. Por ello se acoge en esta propuesta el concepto

de límites difusos o borrosos con la capacidad de permear el uno al otro en las diferentes entidades y niveles analizados. Es importante tener en cuenta que las unidades de paisaje y las unidades socioeconómicas, constituyen en sí mismas unidades complejas, en el caso de las primeras integran aspectos, geológicos, geomorfológicos, relieve, clima, hidrología, suelo, cobertura y uso; por su parte, las unidades socioeconómicas integran aspectos económicos, culturales, demográficos, sociales, y demás atributos relacionados con el uso y manejo de la tierra. Es posible integrar, en cada uno de los niveles, una representación de todos estos dominios que vendrían a conformar en sí lo que se ha definido antes como Paisaje Socio-Ecológico Complejo.

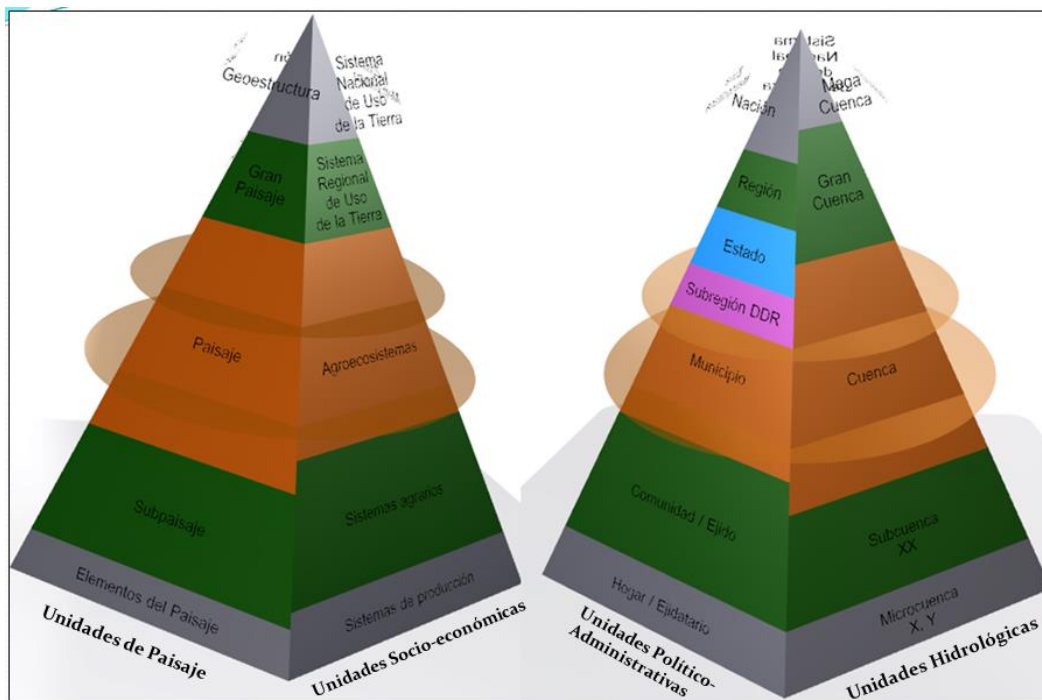


Figura 3. Organización jerárquica integrada de las Unidades de paisaje, Hidrológicas, Socio-económicas y Político-Administrativas, y su correspondencia en diferentes niveles de análisis. La pirámide del lado derecho se debe interpretar como la cara posterior de la pirámide del lado izquierdo.

Dado que se trata de integrar tanto diferentes dominios (social, económico, cultural y natural) como escalas y niveles de análisis, en la construcción del modelo Geoespacial se debe acudir a diferentes técnicas de recolección, proceso, análisis y modelado de información, que incluyen entre otros la investigación de campo, técnicas de fusión imágenes y clasificación basada en objetos, modelado cartográfico, modelos heurísticos, análisis multicriterio y modelos de simulación retrospectiva y prospectiva.

El modelo de representación geoespacial antes descrito, que en la figura 4 corresponde al modelo “1” se propone como la base que sustente la construcción de modelos (2, 3 y 4) de conocimiento y geográfico para el análisis espacio-temporal de la vulnerabilidad/resiliencia de sistemas complejos.

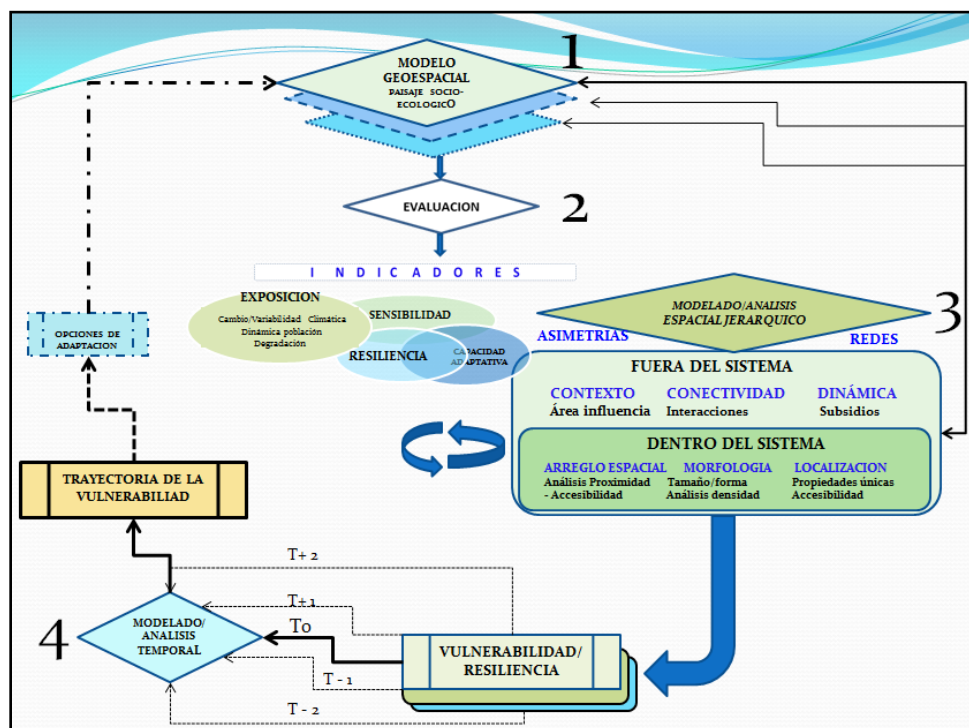


Figura 4. Esquema metodológico para el análisis espaciotemporal de la vulnerabilidad del Paisaje Socio-ecológico al cambio ambiental global.

Se propone, como se ilustra en la figura 4, construir modelos geoespaciales que representen tanto diferentes niveles de análisis (estructura vertical) como estados de tiempo. Se trata de una aproximación metodológica integral³, que al considerar al paisaje como marco para el modelado y análisis espacial, permite incorporar en el análisis de la vulnerabilidad, elementos espaciales de la complejidad del sistema socio-ecológico, desde una perspectiva multiescalar y jerárquica.

A continuación se presentan algunas reflexiones sobre el significado del concepto de paisaje socio-ecológico y del modelo Geoespacial propuesto para el análisis de la vulnerabilidad al cambio ambiental global, como un problema espacio-temporal complejo.

Aunque hay varios estudios sobre los SSEs, su complejidad no ha sido bien entendida, entre las razones que lo pueden explicar está la tradicional separación entre las ciencias sociales y naturales, o lo que dice Massey (1999, citado por Levi S., 2006), “la forma en que se han retomado los modelos de la física para la investigación en ciencias sociales, lo cual deriva en una concepción de lo social como un sistema simple con mucho ruido, en lugar de concebirlo como un sistema complejo”. El concepto *de Paisaje Socio-Ecológico* que se propone aquí, en la medida que se concibe con un enfoque holístico más amplio de sistemas complejos acoplados de ser humano y naturaleza, puede entenderse como una aproximación para abordar problemas socio-ambientales, desde la perspectiva espacial y en donde la integración de información es un requisito fundamental, contribuyendo así a tender un puente entre las ciencias naturales y sociales.

³ La descripción de los modelos 2,3 y 4 de la figura 4, está fuera del alcance de este texto; se muestran para ilustrar como se integra el modelo Geoespacial que se propone en un análisis de la vulnerabilidad.

Un segundo aspecto importante del concepto de paisaje propuesto es el énfasis tanto en la escala como en el anidamiento jerárquico. Estrechamente asociado al paradigma de la jerarquía está el aspecto de escala y de las conexiones inter-escalares e inter-niveles. Con respecto a los términos de escala y niveles, existe en la literatura una gran confusión, son dos términos que muchas veces se usan como similares⁴.

Si se tiene en cuenta que la escala y en particular el análisis escalar e inter-niveles pueden proporcionar una manera de pensar y comprender la dinámica de los sistemas complejos, constituyen estos aspectos una perspectiva de análisis sobre la que se quiere hacer énfasis. El concepto de Paisaje socio-ecológico, al estar centrado en el *acoplamiento jerárquico del sistema*, provee un fundamento para realizar dicho análisis. Con respecto al modelado y análisis entre niveles, en la mayoría de los enfoques conceptuales los sistemas han sido modelados en solo un nivel jerárquico, el enfoque desde el Paisaje Socio-ecológico provee un marco en el cual se pueden acomodar entidades en diferentes escalas y niveles y sus relaciones. Este enfoque puede tener importantes implicaciones en aspectos tales como: La delimitación de las unidades de análisis, el análisis del contexto espacial o temporal, el análisis de las interacciones espaciotemporales y entre niveles, y el modelado de patrones. En este último caso si se requiere analizar patrones en diferentes escalas y niveles, este se podría enfocar a través del modelado modular, lo cual podría significar una disminución de

⁴ El término escala se refiere a las dimensiones espacial, temporal, cuantitativa o analítica para medir y estudiar objetos y procesos, y niveles se refiere a las unidades de análisis que se encuentran en diferentes posiciones en una escala (Gibson C., Ostrom E., y Evans T. P., 2002). Interacciones inter-escalares se refieren a procesos en una escala espacial o temporal que interactúan con procesos en otro escala para dar lugar a dinámica no lineal con umbrales. Interacciones inter-niveles son las interacciones entre los niveles dentro de una escala (Carpenter and Turner 2000; Gunderson and Holling2002; Peters et al., 2004a)

la complejidad en el modelado, toda vez que al establecer niveles jerárquicos, en cierto sentido se está simplificando (descomponiendo) la complejidad.

El aceptar *el nivel de organización* como un elemento central del concepto de *paisaje socio-ecológico complejo*, se está proponiendo indirectamente que *el paradigma de la jerarquía*, sea un componente esencial de dicho concepto. Se entiende aquí este paradigma:

- a) como una alternativa a la clásica ciencia experimental reduccionista, para abordar la complejidad del *paisaje socio-ecológico* como fenómeno en sí mismo (Koestler, 1967, después de Albrecht J. y Car A., 2004)
- b) Como un esquema estructural central de la arquitectura de la complejidad que se manifiesta a menudo bajo la forma de modularidad en la naturaleza (Simon, 1962)
- c) Como un medio para ayudar a los investigadores a abordar situaciones complejas mediante la organización de los diferentes elementos del sistema en "niveles" reconociendo sus relaciones asimétricas (Allen T., Allen P., y Wixon D. 2009)
- d) Como una manera de analizar la complejidad y un proceso de descubrir o poner orden (Wu J. y David J. L. 2002) y,
- e) Finalmente, se entienden las jerarquías desde una perspectiva tras-disciplinaria, asociándolas con diferentes puntos de vista (Giampietro M. and Ramos-Martin J. 2004; Müller J.-P., Ratzé C., Gillet F. and StoffelK. 2008).

Si se considera que tanto el sistema (paisaje socio-ecológico) como el problema a modelar (vulnerabilidad al cambio ambiental global) presentan un alto nivel de complejidad, y que para lograr una comprensión completa que sea útil para el modelaje y representación de sistemas altamente conectados y acoplados se requiere de *la integración* de diferentes

modelos y técnicas de análisis, de tal manera que se puedan incorporar elementos de la complejidad espacial que presenta el sistema, el modelo geoespacial del paisaje propuesto puede constituirse en la plataforma básica ideal.

En el análisis de la vulnerabilidad al cambio ambiental global, uno de los aspectos que se debe analizar son los efectos de las actividades humanas en el cambio de la cobertura y uso del suelo, los cuales afectan la sensibilidad del sistema frente a los determinantes del cambio. Este análisis suele implicar la combinación de datos de ciencias sociales con datos de sensores remotos y otros datos espaciales (socioeconómicos). Son estos datos muy diferentes que normalmente se adquieren por investigadores de muy diversas orientaciones; la integración de dichos datos ha demostrado ser una prioridad y a la vez un gran desafío. Como lo dice Rindfus (2002), una solución común para vincular los datos sociales con datos de percepción remota, ha sido utilizar los datos de censos generados a nivel del hogar, agregarlos a algún límite administrativo, e integrarlos con datos de percepción remota y datos de SIG para la misma unidad administrativa; si bien mucho se puede aprender de vínculos a nivel administrativo, si se tiene en cuenta que muchas de las decisiones sobre el uso del suelo se toman a nivel del hogar y de la comunidad, el agregar hasta unidades administrativas hace invisible las decisiones a nivel micro (hogar/comunidad). En este sentido, el modelo Geoespacial del paisaje que se propone, al considerar unidades de análisis en niveles inferiores a las unidades administrativas, es un intento que busca la integración de dichos datos en estos niveles, contribuyendo con ello a minimizar el problema asociado a la agregación espacial de la información, denominado como falacia ecológica (Gibson et al., 2000) “ considerar que la causa de los patrones a niveles inferiores (o micro) sean la misma que funciona a un nivel superior (o macro)”.

Una premisa fundamental en el modelo Geoespacial propuesto es la vinculación de la sociedad-naturaleza a través de una caracterización del paisaje y su representación espacio-temporal explícita usando elementos de la Geomática, como la percepción remota, una tecnología a la vanguardia. En este sentido el modelo geoespacial que se propone aboga para que se utilice todo el potencial que ofrecen los datos suministrados por la percepción remota (en términos de sus características espectrales, espaciales y temporales) que integrados (mediante modelado y análisis espacial) con otros tipos de datos (censos de población, censos ejidales, agropecuarios) permitirán lograr una mejor vinculación de las personas a la tierra y viceversa, así como representar sus relaciones dentro de un contexto espacial explícito.

Desde la perspectiva espacial ofrece la percepción remota una gran cantidad de productos con diferente resolución (que van desde un kilómetro a centímetros) lo que permiten comprender y relacionar diferentes patrones y procesos que ocurren en diferentes escalas y niveles del paisaje. Si se tiene en cuenta que una premisa fundamental, es que las decisiones a nivel de la comunidad son determinantes de los patrones de vulnerabilidad en los niveles superiores (municipio, estado, región y nación), por lo tanto, para comprender estas relaciones se requiere la vinculación de píxeles específicos de percepción remota y coordenadas espaciales con los tomadores de decisiones del nivel local, un aspecto muy poco estudiado, es lo que (Rindfuss, 2004) denomina "socializar el pixel" o "Pixelar lo social" actividades científicas relativamente nuevas, y en las cuales hay grandes desafíos y oportunidades para la Geomática.

Desde la perspectiva temporal, el acervo de información espacio-temporal contenida en imágenes tomadas por varias plataformas satelitales es en la actualidad de aproximadamente 40 años, gracias a lo cual se cuenta con una importante cantidad de información espacio-temporal. Esta información será fundamental para incorporar el efecto de las herencias o “huella ecológica”, en la sensibilidad del sistema, y por lo tanto su vulnerabilidad/resiliencia frente a los detonantes del cambio. También permitirán los datos temporales analizar procesos y patrones socio-ambientales que suceden en diferentes tiempos y espacios, y que afectan al ambiente y a las personas en tiempos diferentes, es lo que se conoce como efectos retardados o desfasados en el tiempo.

Finalmente habrá que considerar el proceso de datos y extracción de información de los datos de percepción remota. Los datos contenidos en una imagen satelital son básicamente primarios, y para convertirlos en bases de información utilizable es necesario someterlos a procesos de análisis digital. Entre las múltiples técnicas que existen dentro del procesamiento digital de imágenes, se deben incluir la fusión de datos, así como técnicas modernas de clasificación tales como clasificación orientada a objetos, se trata en este caso incluir información espacial y contextual en los clasificadores de tal manera que pueda aumentarse la precisión en la identificación de objetos y en los productos temáticos obtenidos. La fusión de datos será importante especialmente en el tratamiento de los datos satelitales de alta resolución, el objetivo final de esta técnica es extraer información detallada que pueda servir para el análisis de procesos a nivel micro- comunidad.

REFERENCIAS

- Adger W N. (2006) .Vulnerability. *Global Environ. Chang.* 16: 268-81
- Albrecht J. and Car A. (2004). GIS Analysis for Scale-sensitive Environmental Modeling Based on Hierarchy Theory. IN: Dikau & Saurer: *GIS for Earth Surface Systems*. Springer,
- Allen T. F. H., Allen P. C., and Wixon D. L. (2009). Hierarchy theory in hydrogeology. IN: *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6, 2931–2959.
- Anderies, J., Janssen, M., & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society* 9(1):18.
- Antrop M. (2006). From holistic landscape synthesis to transdisciplinary landscape management. *From Landscape research to Landscape Planning – Aspects of integration, Education and Application*. Springer, 27-50
- Asah S. T. (2008). Empirical Social-Ecological System Analysis: From Theoretical. *Environmental Management*. 42:1077–1090
- Bastian O., Krönert R. and Lipsky Z. (2006). Landscape diagnosis on different space and time scales – a challenge for landscape planning. *Landscape Ecology (2006)* 21:359–374
- Berkes F, Colding J, Folke C. (2003) *Navigating social-ecological systems*. Cambridge: University Press, Cambridge

Buck L. E., Milder J. C., Gavin T. A., Mukherjee I. (2006). *Understanding eco-agriculture: a framework for measuring landscape performance*. Department of Natural Resources Cornell University Ithaca, NY.

Cadenasso M.L., Pickett S.T. A. and Grove J. M. (2006). Dimensions of ecosystem complexity: Heterogeneity, connectivity, and history. *Ecological complexity*, 3: 1 – 12

Carmel Y. and Naveh Z. (2002). The Paradigm of Landscape and the Paradigm of Ecosystem - Implications for Land Planning and Management in the Mediterranean Region. *Journal of Mediterranean Ecology* vol.3, No 2-3: 35-46

Cundill, G., Fabricius, C., & Marti, N. (2005). Foghorns to the future: Using knowledge and transdisciplinarity to navigate the uncharted waters of complex social-ecological systems. *Ecology and Society*, 10(2), 8

Chapin F. S., Folke C., and Gary P. Kofinas. (2009). A Framework for Understanding Change. In: F.S. Chapin et al. (eds.), *Principles of Ecosystem Stewardship*

Easterling W. and Kok K. (2002). Emergent Properties of Scale in Global Environmental Modeling – Are There Any? *Integrated Assessment*, Vol. 3, Nos. 2–3, pp. 233–246

Farina A. (2005). *Complexity, space and cognition: A puzzle for the new science of landscape: Sustainable development: New research*. N.Y: Nova Science. Publisher, Hauppauge.

Farina A. (2006). Introduction to landscape ecology. Principles and methods in landscape ecology. *Landscape Series*, 2006, Volume 3, 1-52, DOI: 10.1007/978-1-4020-5535-5_1.

Folke C. (2007). Social–ecological systems and adaptive governance of the commons. *Ecol Res.* 22: 14–15

Füssel H M (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environ. Change*, 17 155–167

Giampietro M. and Ramos-Martin J. (2005). Multi-Scale Integrated Analysis of Sustainability: a methodological tool to improve the quality of narratives. *International Journal of Global Environmental Issues*, 5:119-141

Gibson C. C., Ostrom E., Ahn T.K. (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecological Economics* 32 (2000) 217–239.

Gibson C., Ostrom E. And Evans T. P. (2002). Scaling issues with Social data in Integrated Assessment Modeling. *Integrated Assessment*, Vol. 3, Nos. 2–3, pp. 135–150

Goodchild M. F. and Janelle D. G. (2004). Thinking spatially in the social sciences. IN: Goodchild, M. F., & Janelle, D. G. (Eds.). *Spatially integrated social science*. New York: Oxford University Press.

Goodchild M. F. and Janelle D. G. (2010). Toward critical spatial thinking in the social sciences and humanities. *GeoJournal*, 75:3–13. DOI 10.1007/s10708-010-9340-3

Green D. G., Sadedin S. (2005). Interactions matter—complexity in landscapes and ecosystems. *Ecological Complexity* 2, 117–130

Hovelsrud G. K., Amundsen H. and West J. (2008). Understanding community vulnerability and adaptation: methodological challenges in analyzing coupled social-ecological systems. *Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change – Long-term policies: Governing social-ecological change*, Berlin

Hunziker M., Buchecker M. and Hartig T. (2007). Space and Place – Two Aspects of the Human-landscape Relationship. En F. Kienast, O. Wildi & S. Ghosh (eds.). *A Changing World. Challenges for Landscape Research*, 47– 62. Springer.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001a). *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001b). *Summary for Policy Makers: Working Group II: Climate Change 2001: Impacts and Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge.

Janssen M. A., Anderies J. M. and Ostrom E. (2007). Robustness of Social-Ecological Systems to Spatial and Temporal Variability. *Society and Natural Resources*, 20:1–16

Kay J. J., et al., (1999). An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures* Vol 31 #7 pp.721-742

Kay, J. et al., (2001). "Ecosystems, Science and Sustainability", in Ulgiati S. Brown, M.T., Giampietro, M., Herendeen, R., Mayumi, K., (eds.) *Proceedings of the international workshop: Advances in Energy Studies: exploring supplies, constraints and strategies*, Porto Venere, Italy, 23-27 May, 2000 pp. 319-328

Kauffman, S. (1995) *At Home in the Universe: the search for the laws of self-organization and complexity*, Oxford University Press, 336p.

Kienberger S. and Zeil P. (2006). Vulnerability Assessment and Global Change Monitoring: The Role of Remote Sensing -Potential and Constraints for Decision Support. *31st International Symposium on Remote Sensing for the Environment 2005*, 20. – 24.06.2005, St. Petersburg, Russia

Kolasa J. (2005). Complexity, system integration, and susceptibility to change: Biodiversity connection. *Ecological Complexity* 2, 431–442

Levi S. (2006). Geografía humana y geomática. *A Boletim Goiano de Geografia*. Vol. 26, 1

Liu J. et al. (2007). Coupled human and natural systems. *Ambio* Vol. 36, No. 8: 639-649

McAlpine CA, Ryan JG Seabrook, L, Thomas S, Dargusch PJ, Syktus JI PielkeSr, RA, Etter A. E, Fearnside PM and Laurance WF. (2010). More than CO2: a broader paradigm for managing climate change and variability to avoid ecosystem collapse. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2: 334–346

McMahon G., and others, (2005). *Geography for a Changing World – A Science Strategy for the Geographic Research of the U.S. Geological Survey, 2005-2015*, Sioux Falls, S.D.: U.S. *Geological Survey Circular* 1281, 76 pages

Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum* 32 (3): 405-14.

Manson, S. M. and D. O'Sullivan. (2006). Complexity theory in the study of space and place. *Environment and Planning*, 38(4): 677-692.

Mark D. M. (2000). Geographic Information Science: Critical Issues in an Emerging Cross-Disciplinary Research Domain. *URISA Journal*. Vol. 12, No. 1.

Matthews R. and Selman P. (2006). Landscape as a Focus for Integrating Human and Environmental Processes. *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 57, No. 2, 2006, 199–212

Miller C. (2006). Environmental Governance in a Patchwork World. Bridging Scales and Divides in Global Environmental Assessments. in: Reid, W. V. (Ed.). *Bridging scales and*

knowledge systems: Concepts and applications in ecosystem assessment. Island Press, Washington, D.C.

Müller J.-P., Ratzé C., Gillet F. and Stoffel K. (2008). Modeling and Simulating Hierarchies. Using an Agent-Based Approach. IN: *Multi-Agent-Based Simulation IX: International Workshop, MABS 2008, Estoril, Portugal, May 12-13, 2008*

Musacchio L. R. (2009). The scientific basis for the design of landscape sustainability: A conceptual framework for translational landscape research and practice of designed landscapes and the six Es of landscape sustainability. *Landscape Ecol*, 24: 993–1013

National Research Council. (2006). *Contributions of Land Remote Sensing for Decisions About Food Security and Human Health: Workshop Report Committee on the Earth System Science for Decisions About Human Welfare: Contributions of Remote Sensing*, Geographical Sciences Committee, National Research Council. Washington, D.C.
www.nap.edu

National Research Council. (2009). *New Directions in Climate Change Vulnerability, Impacts, and Adaptation Assessment: Summary of a Workshop*. Jennifer F. Brewer, Rapporteur, Subcommittee for a Workshop on New Directions in Vulnerability, Impacts, and Adaptation Assessment, Committee on the Human Dimensions of Global Change, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.

Naveh Z. (2004). Chapter 13. Multifunctional, self-organizing biosphere landscapes and the future of our total Human ecosystem. *World Futures* 60: 469–503

O'Brien K, Leichenko R, Aandah G, Tompkins H, and Javed A. 2004. Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: *A Technical Memorandum*. CICERO: Oslo, Norway.

Opdam P., Luque S., Jones K. B. (2009). Changing landscapes to accommodate for climate change impacts: a call for landscape ecology. *Landscape Ecol.*, 24:715–721

Ostrom E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, Vol. 325: 419-422. Recuperado de [http:// www.Sciencemag.org](http://www.Sciencemag.org)

Perczyk D., Bormioli M., Carlino H., González M. P. (2004). *Manual de Cambio Climático*. Proyecto de Ciudadanía Ambiental Global Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Salud y Ambiente de la República Argentina

Rindfuss R. R. (2004). Chapter 1: linking household and Remotely sensed data. Methodological and Practical Problems. In: Ronald R. Rindfuss, Stephen J. Walsh, Vinod Mishra, Jefferson Fox, Glenn P. Dolcemascolo (Eds.). *Linking Household and Remotely Sensed Data*. Springer.

Ryan, J., J. Ludwig, and C. Mcalpine. (2007). Complex adaptive landscapes (CAL): A conceptual framework of multi-functional, non-linear ecohydrological feedback systems. *Ecological Complexity* 4:113-127

Schaich H., Bieling C. & Plieninger T. (2010). Linking ecosystem services and the cultural landscape. *GAIA* 19/4: 269–277

Simon, H. (1962). The architecture of complexity: Hierarchic systems, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 467-482

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin, (2007). *Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.

Toledo A. (2010). Vulnerabilidad, adaptabilidad, resiliencia y sustentabilidad de la población mexicana frente al cambio climático. Propuesta de Investigación. Centrogeo. Mexico, D. F.

Thompson JN, et al. (2001). Frontiers of ecology. *BioScience* 51: 15–24.

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., and Schiller A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, vol. 100, 14

Wu J. and L. D. Liu. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications. *Ecological Modeling* 153: 7–26

Young, O. Berkhout, F., Gallopin, G., Janssen, M., Ostrom, E., & van der Leeuw, S.
(2006). The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research.
Global Environmental Change 16 (3):304–316.