



Servicios Ecosistémicos. Bases conceptuales (como insumo para la estructuración del Plan de Investigación y Monitoreo del Sinap en el tema de servicios ecosistémicos). Síntesis preparada *por Lorena Franco Vidal, Fundación Natura*, para el taller organizado por la Mesa de Investigación y Monitoreo (MIM) del Sinap. Bogotá, Septiembre 7 de 2010.

1. Presentación

En 2005 la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA) publicó una síntesis “masiva” de conocimiento científico y su interpretación a la luz de la trayectoria de cambio de los ecosistemas de la Tierra, y su capacidad para sustentar el bienestar humano. Muchas conclusiones contundentes surgieron de este emprendimiento del ámbito global, entre ellas que la acción humana está teniendo efectos profundos y muy rápidos en los servicios ecosistémicos (ES), y que si bien en general durante el siglo pasado hubo incremento de los ES de provisión, este aumento está relacionado con la disminución de los procesos y estructuras ecológicas del sistema biofísico y con los valores culturales (MEA 2005). El MEA también hizo evidente que la diversidad genética y la diversidad de especies está disminuyendo en tasas mayores a las que han ocurrido durante la historia geológica de GAIA, y que los paisajes son cada vez más homogéneos en la medida en que más superficie terrestre está siendo convertida para usos humanos. Las dos conclusiones anteriores hacen inevitable hacer el vínculo directo entre la transformación y pérdida de biodiversidad y el uso de los servicios ecosistémicos.

A partir de las conclusiones del MEA muchas investigaciones se han potenciado y desarrollado buscando encontrar “soluciones”, o “rutas alternas”, a la trayectoria de transformación. Uno de los más importantes beneficios del MEA es que ha logrado (*re*) enfocar los planteamientos de las investigaciones sobre biodiversidad (sentido amplio), para entender la dinámica acoplada de los sistemas ecológicos y los sistemas sociales como la base del conocimiento para reorientar la trayectoria de la transformación. Se busca a partir de este y otros emprendimientos enfrentar la arraigada convicción que el social y ecológico son sistemas separados. Esta convicción ha dominado el enfoque de manejo de los sistemas biofísico, bajo la premisa que el sistema ecológico provee de manera infinita, y el social usa y domina buscando la estabilización, y oferta, de aquellos recursos y ecosistemas que le son útiles. Esta aproximación ha llevado a relaciones disfuncionales, en muchos casos comprometiendo la viabilidad de los ecosistemas cuando son obligados, por las demandas humanas, a funcionar más allá de los umbrales del cambio irreversible; cuando se busca la máxima productividad de un bien o servicio ecosistémico sin considerar los efectos en la funcionalidad de todo el sistema en el largo plazo.

Las conclusiones de investigaciones sobre el estado de los ecosistemas del Planeta a nivel global, el cambio global ambiental y los motores que lo impulsan, han dado lugar a preguntas “*emblemáticas*” sobre servicios ecosistémicos. Los interrogantes han orientado muchas iniciativas de investigación y conservación, a través de marcos de referencia comprensivos que buscan ser útiles para el manejo porque permiten establecer, cualitativa y cuantitativamente, las conexiones entre los sistemas ecológicos y sociales. En otras palabras, la conexión entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Algunas de estas preguntas son (con base en Carpenter *et al.*, 2009):

- *cuál es la combinación de servicios ecosistémicos que puede darse de manera sostenible en un paisaje particular?;*
- *cómo el cambio en el uso de la tierra, la movilización de nutrientes, la composición de especies y el clima afectan el flujo de servicios ecosistémicos?;*
- *cómo se puede corregir el desbalance en la generación de los servicios ecosistémicos de soporte, regulación, culturales y los de provisión?;*
- *cuál es la combinación de servicios ecosistémicos valorada y preferida por la sociedad?;*
- *cómo las decisiones y las intervenciones humanas para beneficiarse de un servicio ecosistémico afectan el flujo local del conjunto de SE; y cómo los efectos de estas intervenciones se amplifican a otras regiones?*
- *cuáles de las intervenciones humanas, y cómo, tienen efectos en lugares y regiones del planeta diferentes a donde se originaron? (p.ej. los cambios sistémicos y los acumulados)*
- *qué instituciones, incentivos y regulaciones son efectivas para sustentar el flujo de servicios ecosistémicos?*

Los vacíos de conocimiento sobre servicios ecosistémicos se hacen evidentes con estas preguntas generales. Pero sobre todo estos interrogantes ponen de manifiesto que la generación de conocimiento para responderlos, es un reto mayor que requiere la coordinación entre disciplinas, actores e instituciones, para evitar por ejemplo estudios individuales a través de disciplinas aisladas; o estudios únicamente de las partes de un sistema (p.ej. una “parte” del sistema ecológico o una “parte” del sistema social), que disminuyen la incertidumbre sobre un aspecto del sistema, de manera puntual, pero que pueden “*caer en la trampa de ofrecer respuestas precisas a las preguntas equivocadas*”¹ (Holling 1998), o inútiles.

La trayectoria no sostenible de intervención sobre la base biofísica demanda un cambio urgente en las relaciones humanas con el ambiente y los sistemas de soporte del funcionamiento del planeta (Chapin *et al.* 2010). Se requieren estrategias *diferentes a las convencionales*, que alejen a los territorios de los umbrales del cambio irreversible para que puedan mantener la dinámica y las funciones biológicas, químicas, físicas que determinan la provisión, en el largo plazo, de los servicios ecosistémicos

¹ “Both the science of parts and the science of the integration of parts are essential for understanding and action. Those more comfortable in exercising only one of these have the responsibility to understand the other. Otherwise the science

El concepto de *servicio ecosistémico* permite definir un marco de trabajo a partir del cual hacer explícito el vínculo entre los sistemas sociales y ecológicos y contribuir a orientar (*o reorientar?*) el rumbo del manejo de la base biofísica que debe sustentar el bienestar humano en escenarios de cambio ambiental. Sin embargo las decisiones de manejo con base en los servicios ecosistémicos requieren investigaciones que permitan conocer y entender el amplio rango de procesos y mecanismos de retroalimentación que determinan la dinámica de los sistemas ecológicos y sociales (Carpenter *et al.*, 2009) y por lo tanto la generación de los beneficios para el ser humano. De esta forma se podrá, de manera un poco más ajustada, decidir cuáles estrategias son necesarias para evitar trayectorias de cambio indeseable de los sistemas biofísicos, los sistemas sociales y los servicios ecosistémicos.

Los sistemas de áreas protegidas y las estrategias acompañantes, complementarias¹ para la gestión de la biodiversidad en un paisaje, se han propuesto como fundamentales para mantener la funcionalidad de los territorios, porque podrían incluir todas las escalas espaciales relevantes que sustentan los elementos estructurales, mecanismos y dinámica necesarios para la provisión de servicios ecosistémicos

Entre las estrategias planteadas se encuentran las redes de gestión de la biodiversidad (sentido amplio), y en estas están identificadas de manera específica los Sistemas de Áreas Protegidas articulados con el enfoque de la funcionalidad del paisaje (Halffter & Moreno 2005). En estos sistemas las “partes” que los integran, es decir las áreas protegidas y los sistemas de conexión entre ellas (aquí, desde el punto de vista estrictamente biofísico), deben relacionarse para que se dé el flujo de energía y materia, de manera orientada al sustento de funciones ecológicas (procesos ecológicos), y *su interacción*. Esto permitiría mantener la funcionalidad de los paisajes y ecosistemas, y con ello la generación y mantenimiento de servicios ecosistémicos. Se debe entonces tener conocimiento de la forma como se generan e interactúan las diferentes funciones ecológicas para la provisión de los SE.

Este documento presenta una revisión general de las bases conceptuales que sustentan el vínculo entre la biodiversidad y los SE, con el propósito de apoyar a la Mesa de Investigación y Monitoreo (MIM) del SINAP en precisar y priorizar los requerimientos de información y conocimiento del nivel nacional que contribuyan a:

1. Construir una agenda de investigación y monitoreo en el tema de SE que organice y priorice las acciones para responder a los requerimientos identificados.
2. Hacer explícito el papel y contribución del SINAP para mantener la funcionalidad de los paisajes como sustento de la generación de los servicios ecosistémicos.

of parts can fall into the trap of providing precise answers to the wrong question and the science of the integration of parts into providing useless answers to the right question” (Holling 1998)

3. Establecer la base científica para alinear las estrategias de manejo, uso y conservación de SE² con la dinámica de generación de SE (y la institucionalidad necesaria para ello).
4. Avanzar en la definición de un marco de referencia (información y herramientas) para tomar decisiones sobre servicios ecosistémicos.

Mensaje clave: porqué es importante estudiar los servicios ecosistémicos y estructurar una agenda de investigación?

- Para saber dónde se generan, cuál es el sistema biofísico del cuál dependen y cuáles son los elementos estructurales, los rasgos funcionales y los procesos que sustentan la generación de SE
- Para establecer el vínculo entre los sistemas sociales y biológicos
- Para poder integrar los SE de manera explícita y concreta en la gestión
- Para poder decirle a un tomador de decisiones qué es lo que tiene que regular y en dónde (hacer las preguntas pertinentes)
- Para identificar las estrategias necesarias para evitar trayectorias de cambio indeseable de los sistemas biofísicos, los sistemas sociales y los servicios ecosistémicos
- Para contribuir a lograr la adaptación de los sistemas biofísicos y sociales ante el cambio ambiental, porque es a través de los SE que se manifiesta gran parte de la vulnerabilidad

2. Qué son los servicios ecosistémicos

Entre 2003 y 2005 la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA³) definió que “*los servicios ecosistémicos son los beneficios que obtiene la gente de los ecosistemas*”. Esta definición, aunque sencilla en relación con la enorme complejidad de procesos y estructuras, y escalas espaciales y temporales, necesarias para que un servicio ecosistémico se produzca (y además pueda ser aprovechado por la sociedad), hace explícito el vínculo entre los sistemas biofísicos y los sistemas humanos.

El concepto de servicios ecosistémico (SE) se había definido mucho tiempo antes de la MEA. Desde los años 70 se conocen como bienes y ES a aquellos procesos y funciones de los ecosistemas que son percibidos por el ser humano como un beneficio, ecológico,

² Por ejemplo, conectar AP de una región, con base en el criterio de flujo de materia y energía, e identificar estrategias complementarias (p. eje. *mosaicos de conservación*) que permitan sustentar procesos de soporte de SE

³ Por sus siglas en inglés: Millenium Ecosystem Assessment

cultural o económico, directo o indirecto⁴. La importancia mayor del MEA es que utilizó un nuevo marco conceptual para documentar, analizar y entender los efectos del cambio ambiental en los ecosistemas y el bienestar humano (Carpenter et al., 2009); y a partir del lente de los servicios ecosistémicos logró ampliar el enfoque y la mirada hacia la biodiversidad (sentido amplio) ubicándola en el nivel de importancia que tiene, dada su relevancia como soporte de múltiples procesos que son determinantes de la vida misma del ser humano. El enfoque hacia los SE ha sido adoptado ampliamente entre la comunidad científica y política y ha resultado en nuevas aproximaciones para la investigación, la conservación y el desarrollo (op.cit).

Este enfoque sin embargo no se plantea como un “reemplazo” de las estrategias de conservación en marcha. Está planteado como un modo complementario que permite incorporar las necesidades de conservación, el mejoramiento del manejo de los ecosistemas para el mantenimiento de la biodiversidad, y al mismo tiempo la permanencia de procesos y estructuras que son la base de los SE. De lo anterior se deriva entonces que la principal diferencia con las aproximaciones convencionales de conservación surge de la “unidad de manejo”. Mientras que en las primeras se oscila entre la protección de poblaciones de especies particulares o hábitats “completos”, con el enfoque de SE se puede involucrar un amplio espectro de tipos y tamaños de unidades de manejo, desde poblaciones de especies particulares a grupos funcionales y ensamblajes de especies (y su dinámica en el tiempo) (Heslett et al., 2009).

Las siguientes son algunas de las percepciones que se relacionan con el conocimiento para tomar decisiones de manejo de la biodiversidad. Estas percepciones fueron recogidas durante los talleres realizados en el proceso de revisión y ajuste de la Política de Biodiversidad 2009-2019, y reflejan de alguna manera la necesidad de ampliar los criterios de investigación de tal modo que incorporen el concepto de servicios ecosistémicos.

“desbalance para la toma de decisiones en el conocimiento biofísico de las áreas menos intervenidas en relación con las áreas transformadas, su importancia, estado y también su papel e influencia en la integridad de las áreas naturales (menos intervenidas) con las cuales se relacionan”

...“se necesita una modernización de la conceptualización y gestión de la biodiversidad... todavía prevalece el énfasis hacia las especies que tienen altos valores naturales pero no las que se usan y esto se debe reflejar en la PNB” [“Hay 45,000 especies que están usándose de alguna forma (boom)... se estima que hay 15,000 especies amenazadas”]

...“se sabía de tiempo atrás que la biodiversidad estaba en zonas transformadas que guardaban todavía características de naturalidad,...”esto en la gestión no se vio reflejado con suficiente

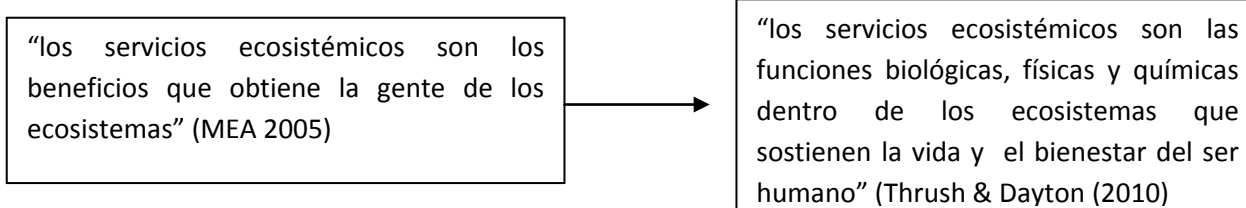
⁴ Durante este período varios autores han nombrado y definido los servicios ecosistémicos de diversas formas (Holdren & Ehrlich, 1974; Ehrlich, 1998; Ehrlich & Ehrlich, 1992; Daily, 1997; Constanza et al. 1997; Binning et al 2001)

énfasis y hoy en día lo que se tiene son áreas que perdieron su carácter ecológico para dar paso a sistemas de producción en los cuales es imposible restablecer una condición similar o próxima a la natural”

...” debido al énfasis en el conocimiento de las zonas menos intervenidas se ha dejado de lado el conocimiento en agroecosistemas...” ...”se debe documentar más que está pasando con las especies silvestres que potencialmente podrían contribuir a la alimentación

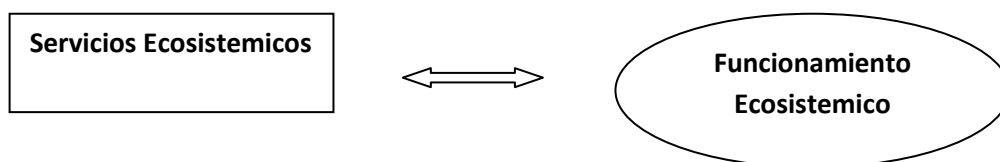
Con el concepto de servicio ecosistémico, y sus muchas definiciones, se dio un nuevo nombre a una antigua idea que como ahora, ha sido motivo de interés [y *preocupación creciente*] por la disminución en la capacidad que se percibe de la naturaleza para prestar estos beneficios a una población cada vez mayor (Brauman et al. 2007).

Después de 2005 se ha incrementado la actividad científica para hacer operativas todas las conclusiones y recomendaciones del MEA. Metanálisis de investigaciones sobre el funcionamiento ecosistémico y los vínculos con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, han hecho evidente la necesidad de contar con definiciones más operativas de los SE. Por ejemplo La definición de Thrush & Dayton (2010) (más abajo) hace explícito que hay un “trabajo” detrás de cada servicio ecosistémico, realizado por la naturaleza, para mantener la vida. Los esfuerzos por definir los SE surgen no solamente por el interés científico. Surgen de la necesidad que se reconozca, y se entienda, que el bienestar humano **realmente** depende de gran cantidad de elementos y relaciones que están en una trayectoria de cambio indeseado comprometiendo el futuro de la vida.



Encontrar la manera de hacer explícito, operativo este vínculo (Fisher 2008), también es necesario para el estudio y la investigación de la manera como se producen los SE, y a partir de aquí, reorientar la forma de manejo para asegurar su generación continuada.

Necesariamente el concepto de servicio ecosistémico se liga con el de funcionamiento ecosistémico.



La pérdida de servicios ecosistémicos limita, y puede impedir, el logro de los objetivos de desarrollo del milenio provocando de esta manera la acentuación de la espiral baja calidad de vida-degradación ambiental-accentuación de la baja calidad de vida

El funcionamiento ecosistémico tiene que ver con los flujos de energía y materiales a través de los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema (Díaz y Cabido 2001 en Polania C., Pla L. & Casanoves F., 2010). Este flujo depende de la dinámica conjunta entre las variables estructuradoras (*“variables de cambio lento”*, sensu Gunderson & Holling 2002) que determinan la estabilidad de los ecosistemas en el largo plazo; y la dinámica ecosistémica en el corto plazo (*“variables de cambio rápido”*). Esta “relativa estabilidad” en los ecosistemas determina la generación de servicios ecosistémicos. Las implicaciones de lo anterior son enormes y sustentan la categorización de los SE de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio: regulación, soporte, aprovisionamiento, cultural.

de regulación: son los beneficios que se derivan de la regulación de los procesos ecosistémicos. Aquí se incluyen la calidad del aire, regulación climática e hídrica (inundaciones), control de erosión, mitigación de riesgos, regulación de la frecuencia y magnitud de enfermedades, control biológico, tratamiento de desechos (por la filtración y descomposición de desechos orgánicos), polinización.

de soporte: son los procesos ecosistémicos, y estructuras, que son necesarias para que sea posible la generación de los otros servicios ecosistémicos (regulación, aprovisionamiento y culturales). La diferencia con los otros SE está en que los efectos en las personas son indirectos o su ocurrencia es en períodos de tiempo muy amplios⁵, al contrario de los otros cuyos beneficios e impactos en la gente son directos y se perciben en el corto plazo. Entre los SE de soporte se encuentran la producción primaria, la formación del suelo, la producción de oxígeno, retención de suelos, y ciclaje de nutrientes y del agua.

de aprovisionamiento (también mencionados como de provisión): son los productos obtenidos de los ecosistemas como alimentos, agua limpia, combustibles, madera, fibra, recursos genéticos, medicinas naturales y otros.

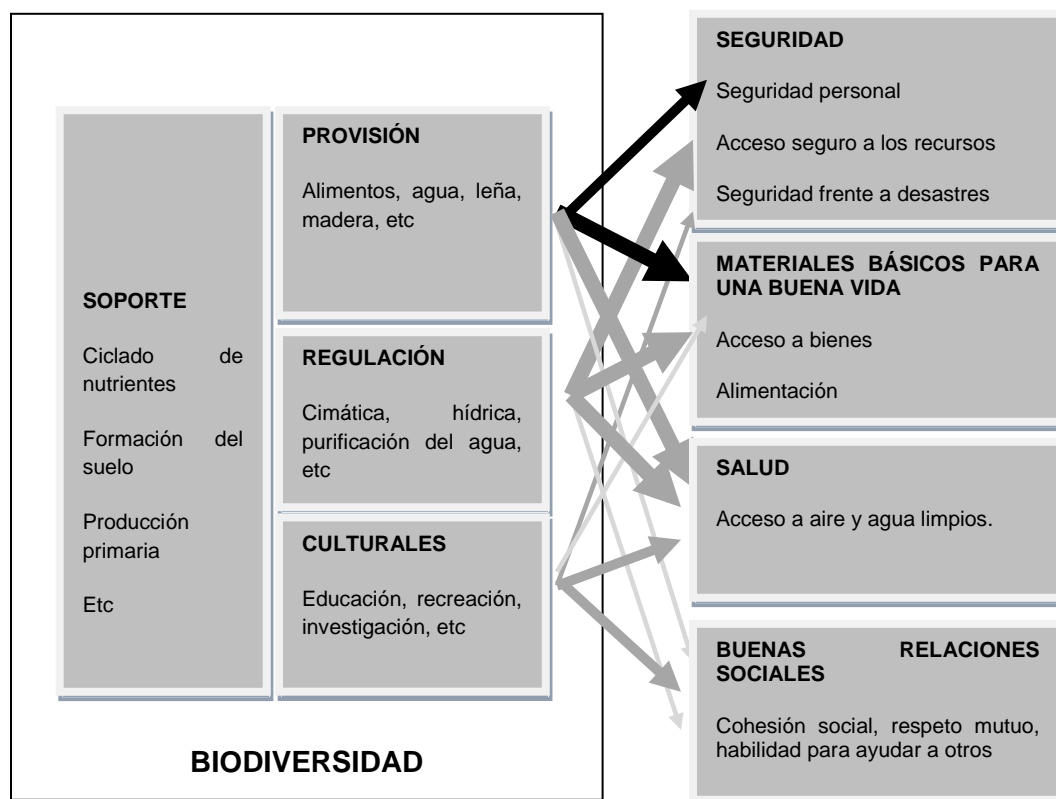
culturales: Son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas por medio del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación. Estos están fuertemente ligados con los valores humanos y el comportamiento, por lo que las percepciones de estos servicios difieren entre individuos y comunidades

⁵ Por lo que generalmente no son percibidos, ni reconocidos como un servicio de la naturaleza y no entran dentro de los objetivos de gestión

Una de las dificultades que surge en el estudio, manejo y decisiones sobre los servicios ecosistémicos es precisamente la percepción (reconocimiento, identificación) de los procesos ecosistémicos y elementos estructurales de la biodiversidad (estructuras físicas y componentes biológicos) como servicios ecosistémicos. Esta dificultad ha llevado a proponer que la tipificación de los SE sea en: **intermedios y finales** (Fisher et al. 2008), o **servicios ecosistémicos y beneficios**, donde los primeros son los fenómenos ecológicos y los beneficios son los aspectos tangibles e intangibles que directamente tienen impacto sobre el bienestar humano.

Otro término frecuente en este tema es el de **servicio ambiental** que es utilizado para referirse a un bien o servicio ecosistémico que primero debe pasar por algún proceso que requiere capital humano para su generación y “disponibilidad” para el ser humano (como una hidroeléctrica, maquinaria, etc.). Los servicios ambientales están también relacionados con el suministro de recursos ambientales o saneamiento ambiental prestados por industrias y organizaciones sociales, como los servicios de alcantarillado, recogida y disposición de basuras, saneamiento y servicios similares, al igual que servicios de reducción de emisiones de los vehículos y servicios de reducción del ruido, entre otros, más no están necesariamente relacionados con los procesos y funciones de los ecosistemas, como sí lo están los **servicios ecosistémicos** (MAVDT 2010).

El siguiente esquema idealizado (tomado de MEA 2005) pretende mostrar la interrelación entre los ecosistemas y el bienestar humano, a través de los servicios ecosistémicos. Muchas veces esta relación toma la forma de dependencia profunda, e incluso de determinante de la viabilidad de una de las partes.



Color de las flechas: potencial de mediación por factores socioeconómicos

- Bajo
- Medio
- Alto

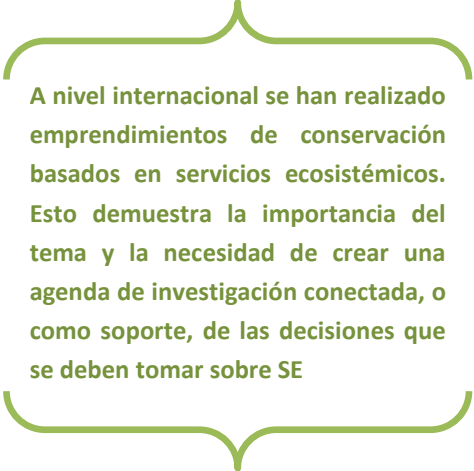
Grosor de las flechas: Intensidad de la relación entre servicios ecosistémicos y bienestar humano.

- Débil
- Mediana
- Fuerte

3. De qué depende y cómo se producen los servicios ecosistémicos?

Los proveedores de servicios ecosistémicos son especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas que a través de interacciones complejas (entre ellos y con el medio abiótico) dan cuenta de un sinnúmero de beneficios, tangibles e intangibles, para el ser humano (Hooper *et al.* 2005; de Bello, *et al.* 2009). No hay una relación 1:1 entre un SE y un proceso ecosistémico. También se da el caso que más de un proceso da cuenta de un SE; y también sucede que una sola función puede sustentar la provisión de más de un SE (Constanza *et al.* 1997). De lo anterior se deriva que hay gran número de servicios ecosistémicos que pueden ser identificados a partir de cada función de los ecosistemas, de tal manera que se puede afirmar que toda función es un servicio, pero solo se hace perceptible cuando la sociedad la identifica como una transferencia neta de materia, energía o información (Piñeros y Baptiste 2006). Lo anterior es muy importante porque la falta de reconocimiento de los SE es, en parte, lo que ha llevado a que no se identifiquen procesos ecosistémicos como beneficios, y por lo tanto su manejo (y gestión en general) no se hace explícito llevando al deterioro del sistema proveedor. En síntesis, si no se identifica, no se reconoce, entonces no se maneja el “sistema proveedor” dentro de los límites de su funcionalidad.

Las interacciones entre los proveedores de SE, y con su medio abiótico, pueden darse en muchas escalas espaciales. Pueden tomar la forma de migraciones amplias, de miles de



A nivel internacional se han realizado emprendimientos de conservación basados en servicios ecosistémicos. Esto demuestra la importancia del tema y la necesidad de crear una agenda de investigación conectada, o como soporte, de las decisiones que se deben tomar sobre SE

kilómetros, entre dos biomas incluso; o pueden darse en espacios pequeños, en la interfase agua-tierra por ejemplo, pero que son esenciales para que el SE se produzca. Desafortunadamente es el SE final el que se percibe por la sociedad, es el que se reconoce como tal. Se desvanecen los SE anteriores (*intermedios*, de regulación y soporte), procesos que si no sucedieran no se tendría el resultado final (por ejemplo, la migración de los grandes bagres amazónicos). Estos procesos anteriores a la producción del bien final que es

percibido y reconocido, requieren además de toda la variabilidad ambiental característica para que puedan suceder. Incluso el elemento que determina el carácter ecológico del ecosistema que provee, puede “desparecer” por ciertos períodos y esto sustenta la generación final del SE que es percibido.

Dos regiones, Andes y Amazonas, requieren mantener la conectividad hidrológica para sustentar una industria pesquera que mueve entre 100 y 200 millones de dólares por año

En escalas mayores de conexión de procesos y territorios, como atributo que sustenta servicios ecosistémicos de gran importancia económica, un ejemplo se encuentra en las pesquerías comerciales de los peces migratorios de la cuenca Amazónica. De acuerdo con Barthem & Goulding (2007) la migración permite que los peces utilicen diferentes hábitats para la alimentación, reproducción y desarrollo. Algunas especies como los bagres de gran tamaño se han adaptado para usar los 5,000 km de ancho de la cuenca. Los individuos más jóvenes de estas especies viven en Brasil y los adultos se reproducen en Perú, Colombia, y probablemente en Ecuador. Las zonas de desove parecen limitarse a las estribaciones de la cordillera de los Andes.

Los Andes orientales están siendo colonizados rápidamente y las actividades mineras y agrícolas podrían estar amenazando una parte muy importante del ciclo de vida de especies que sustentan industrias que tiene un valor anual entre 100 y 200 millones de dólares al año¹. Las estrategias de gestión de este tipo de servicio ecosistémico debe incluir al río Amazonas, y sus afluentes porque estas vías son utilizadas por los peces migratorios para llegar hasta los Andes a desovar. Aunque para ello es necesario tener más información sobre la ubicación de los sitios de desove, la importancia de los tributarios, el papel crítico de los bosques inundados y las islas flotantes en la sostenibilidad de estas pesquerías. Todos estos son aspectos todavía desconocidos. Esta información debe ser el sustento científico cuando se decide hacer represas que puedan bloquear estos procesos.

La variabilidad ambiental es indispensable para la provisión de servicios ecosistémicos

Los ecosistemas cambian porque están sujetos a perturbaciones naturales, en el ciclo diario y anual (probablemente multianual); incluso elementos y procesos característicos de su identidad ecológica pueden “desaparecer” por períodos específicos de tiempo. Esta variabilidad está dentro de los rangos naturales de variación y el ecosistema, y sus componentes, están adaptados a ella y dependen de su ocurrencia para llevar a cabo funciones ecológicas indispensables para la provisión de servicios ecosistémicos. Tal es el caso de los humedales estacionales de los planos de inundación de ríos, que reciben la influencia del agua en ciclos determinados por la periodicidad dependiente del clima y el ciclo hidrológico. Tanto la ausencia como la presencia de agua, en estos períodos, es condición para que se lleven a cabo procesos fundamentales de la biota allí presente, como la búsqueda de alimento, la reproducción o el desarrollo. También la llegada del agua, y su retirada, sustenta procesos del ciclado de nutrientes que además de contribuir con la fertilidad del suelo adyacente a los humedales (muchas veces usada para cultivos agrícolas de ciclo corto y sustento de comunidades humanas locales) es indispensable para procesos como transporte de huevos de peces de importancia alimenticia en los sistemas pesqueros.

3.1 las características (rasgos) funcionales de la biodiversidad determinan las funciones ecológicas→ servicios ecosistémicos

Para que un servicio ecosistémico se produzca debe existir un (s) proveedor (s) y este debe estar “dotado” con características que se vinculan, directa o indirectamente, con el proceso o elemento que es percibido, y reconocido, como SE. Estas características son llamadas *características o rasgos funcionales*⁶

Los rasgos funcionales son las características de los organismos que los vinculan con las funciones ecológicas en los ecosistemas, determinando la respuesta frente a las perturbaciones y la generación de servicios ecosistémicos. En las plantas por ejemplo, los rasgos funcionales incluyen características bioquímicas, ecofisiológicas, morfológicas, demográficas (en el nivel de poblaciones). En la fauna se relacionan con el ciclo de vida, el comportamiento y la forma de alimentación, etc (Harrington et al., 2010).

Los rasgos funcionales de la biodiversidad, en el nivel de especies, han recibido gran atención desde hace varios años porque influyen en la generación de servicios ecosistémicos a través de los fenómenos o procesos ecológicos que sustentan. La expresión combinada de estas características funcionales dentro, y entre, niveles de la organización biológica determina la generación de los servicios ecosistémicos. En la siguiente tabla se presentan algunos ejemplos.

| Organismo | Rasgo | Servicio |
|--------------------------------|----------------------------------|--|
| plantas terrestres | contenido de N foliar | fertilidad y circulación de nutrientes, biocontrol, producción de forraje |
| | contenido de materia seca foliar | fertilidad y circulación de nutrientes, biocontrol |
| | arquitectura de dosel | regulación climática e hidrológica, formación y estabilización del suelo, producción de fibras, control natural a desastres, circulación de nutrientes, provisión de hábitat |
| | arquitectura de raíces | regulación hidrológica, estabilización y formación de suelo, circulación de nutrientes, regulación climática, producción de forraje |
| invertebrados del suelo | tamaño de organismos | circulación de nutrientes y fertilidad, estabilización y formación de suelo, regulación hidrológica y climática |

de Bello et al., 2009

⁶ también en la literatura reciben el nombre de *atributo funcional* cuando adquieren un valor específico (Violle et ál. 2007 en Polania C. et al., 2010)

Las características funcionales de la biodiversidad se manifiestan en todos los niveles de la organización biológica y aunque no hay especificidad 1:1 en la relación *atributo-servicio ecosistémico*, si hay relación con la generación de un determinado SE y atributos específicos. Por ejemplo, la longitud de las raíces de especies leñosas en una cuenca de captación se relaciona con el mantenimiento de una tasa determinada de escurrimiento/infiltración; pero para que la expresión funcional de esa característica de las raíces (por ejemplo, largo de raíces) se pueda dar, deben estar presentes otros rasgos funcionales de la fauna acompañante, por ejemplo microorganismos que crean poros y las condiciones en el suelo necesarias para la función de infiltración.

| Ejemplo de SE que requiere múltiples funciones y atributos actuando en conjunto para su generación | |
|---|---|
| EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETP) | Otros SE beneficiados por la ETP |
| densidad de dosel, tamaño de dosel, área foliar, contenido de materia seca, fenología, profundidad de raíces, forma de crecimiento, conductancia de estomas | Regulación climática; regulación hidrológica, remoción de C |

Dado que la generación de los servicios ecosistémicos depende de la combinación de características clave de las especies y ecosistemas, esta asociación múltiple entre rasgos y procesos ecosistémicos ayuda a identificar, de manera predictiva, grupos de servicios ecosistémicos y atributos en muchos niveles tróficos. Esto es relevante porque se ha propuesto que la evaluación de grupos de servicios ecosistémicos y atributos es un paso importante en el monitoreo y manejo de los paisajes para balancear la provisión de múltiples, y muchas veces conflictivos, servicios ecosistémicos. Lo anterior ha sido evidenciado por metanálisis en los cuales se muestra que la generación de un SE, está asociada a la presencia de diversas características funcionales de diferentes organismos (ejemplo en la gráfica A: varios organismos; gráfica B: plantas). Estos análisis refuerzan la necesidad de mantener grupos funcionales en sustento de SE.

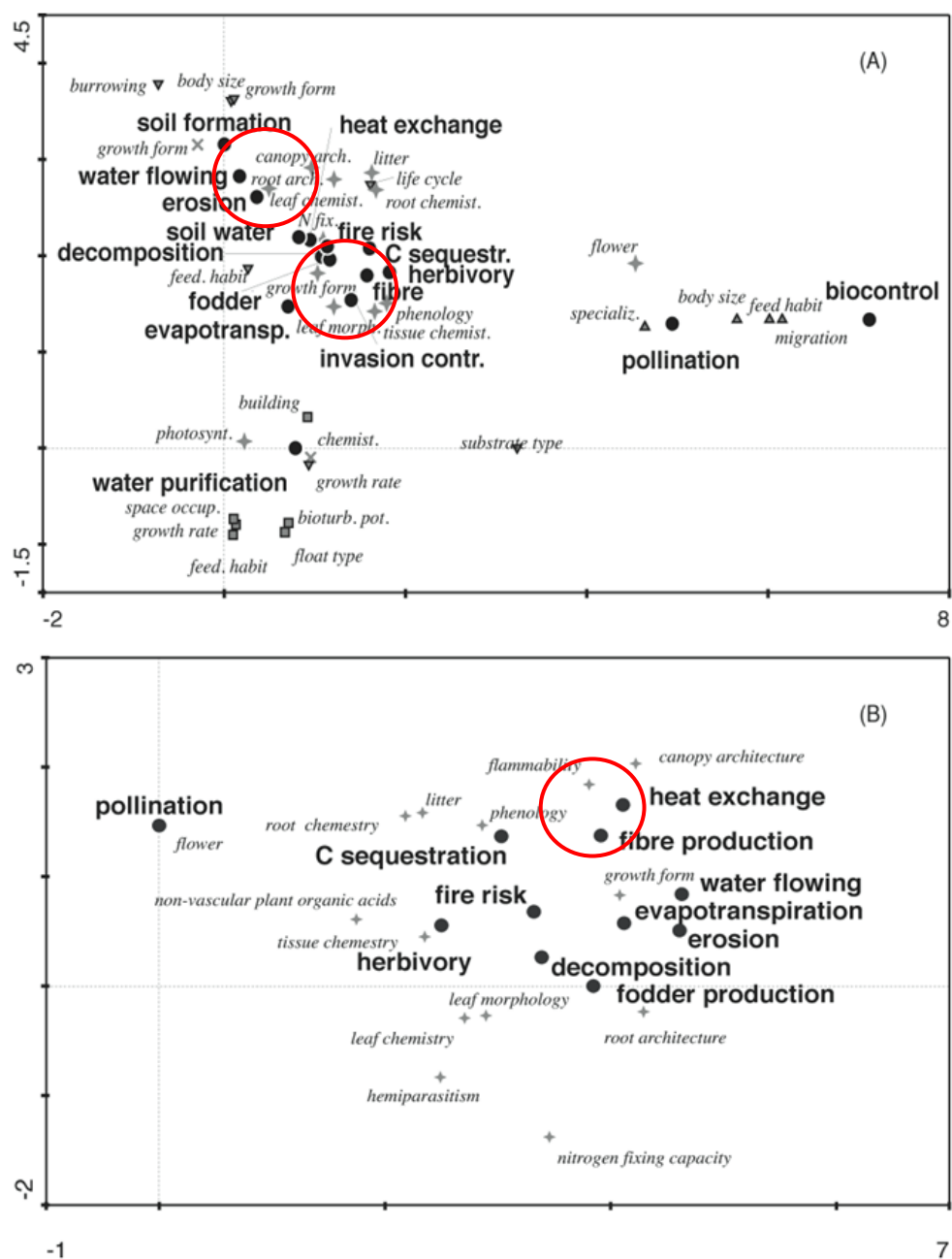


Figura 1. Ejemplo de asociación entre servicios ecosistémicos y rasgos funcionales de diferentes organismos. (tomado de Cipriotti et al., 2010)

Cuánto cuesta mantener, de manera artificial, el nivel freático de una cuenca de gran importancia social y económica en Australia (con base en Walker & Salt 2006)

La cuenca Goulburn-Broken en Australia es un ejemplo de los efectos de la pérdida de atributos funcionales en diferentes escalas espaciales, sobre la generación de servicios ecosistémicos. Esta subcuenca forma parte de uno de los sistemas hídricos más importantes del país y aunque solamente ocupa el 2% de este sistema, contribuye con el 11% del flujo de agua. La región sustenta una importante ganadería de leche con ganancias cercanas a A\$4 billones de dólares y con demandas de agua que deben ser manejadas artificialmente para mantener el nivel freático “en el nivel justo” para evitar la salinización de los pastos ganaderos y cultivos. La zona subterránea tiene almacenada gran cantidad de sal en su interior, producto de su formación geológica. La continuidad de la productividad y eficiencia de la industria lechera depende de la capacidad de mantener el nivel freático a 2 metros de la superficie; lo suficientemente bajo para que la sal almacenada no suba a la superficie en las épocas de lluvias. Si el agua subterránea sube un poco más de 2m, por efecto de capilaridad subirá hasta la superficie, trayendo consigo la sal que está acumulada en el interior. Pero, en épocas de sequía se requiere la irrigación de los cultivos. Esto debe ser hecho con mucho cuidado para no contribuir a aumentar el nivel freático con la consecuencia de la salinización de la superficie, lo cual arruinaría la productividad del sistema lechero. La única forma de impedir que el agua con sal llegue a la superficie es el bombeo artificial, para evitar que aumente el nivel freático (a menos de 2m de la superficie) por el agua de irrigación de los cultivos durante los períodos secos; o por la lluvia durante los períodos de altas precipitaciones. ***Cómo se llega a una situación así?, en donde un sistema productivo próspero que provee un servicio ecosistémico de gran importancia para una región, depende del bombeo de máquinas para evitar el colapso?*** El cambio ecosistémico radical, producto de las intervenciones humanas sobre el sistema natural, causó la alteración del régimen hidrológico porque alteró el nivel freático en una región deforestada y donde el balance hidrológico era dependiente de los períodos de sequía, el nivel freático a una profundidad de 25 metros y una cobertura vegetal mayor al 97% de lo que hoy subsiste. Esta combinación de características determinaban las condiciones para sistemas productivos de menor escala a los establecidos hoy en día. La región empezó a ser deforestada en 1830; y en 1880 las tierras irrigadas se ampliaron a grandes extensiones. El aumento en los sistemas productivos y las sequías hicieron necesaria la construcción de represas para suplir la demanda de agua. Esto hizo que el nivel freático se elevara, proceso que continúa y es además potenciado por los eventos de lluvias torrenciales (como las ocurridas entre 1973-1977). La región está saturada y el “agua” extra no puede ser absorbida. Las áreas deforestadas carecen de especies arbóreas y arbustivas nativas con raíces que podrían mantener el nivel freático < 2m. Esta función no puede ser ejercida por las herbáceas de los potreros ganaderos ni por las especies de la agricultura porque son cosechadas. Hoy en día la mitad del área irrigada (cerca de 270,000 ha) está en riesgo de salinización y pérdida por el aumento del nivel freático.

3.2 los grupos funcionales de organismos y la diversidad de respuestas funcionales como garantes de la generación continuada de servicios ecosistémicos

En la actualidad hay consenso creciente que el tipo, rango y abundancia relativa de las características funcionales en las comunidades bióticas, están sustentando los SE. Los

altos valores de biodiversidad, medida como riqueza de especies, ha sido planteada como indispensable para mantener las funciones y funcionalidad de los ecosistemas. Sin embargo la evidencia apunta a que los grupos, o tipos funcionales, tienen mayor relación con el funcionamiento y los procesos de los ecosistemas, que la relación que puede tener la diversidad medida solo como el número de especies presentes en un área determinada (Díaz & Cabido 2010). Los grupos funcionales junto con las estructuras y condición física, química, la interrelación con los regímenes climáticos, hidrológicos, son la base para que ocurran el sinfín de interacciones que por una parte mantienen condiciones de largo plazo ("*variables de cambio lento*" o estructurantes *sensu* Chapin, Folke & Kofinas 2009) en donde, por otra parte, ocurren procesos y estructuras de cambio más rápido ("*variables de cambio rápido*", *sensu* Chapin, Folke & Kofinas 2009). Es esta función de soporte y estructurante, y su relativa estabilidad⁷, la que mantiene y determina las tasas de ocurrencia de procesos ecosistémicos en diferentes escalas espacio-temporales, y determina la provisión de servicios ecosistémicos necesarios para el bienestar humano y ecológico.

los grupos funcionales de organismos y la diversidad de especies dentro de ellos (Chapin et al 1997 y Luck et al, 2003): conjuntos de organismos que en un sistema desempeñan diversas funciones como polinización, depredación, bioerosión, fijación de nitrógeno, descomposición, generación de suelo, modificación de los flujos de agua, creación de parches para reorganización, etc. Cada grupo de estos es diverso en especies para que la función dentro del ecosistema se dé en la frecuencia y magnitud óptimas necesarias.

la diversidad de respuestas funcionales: la variedad de respuestas que dentro de un ecosistema son posibles ante los cambios ambientales. La diversidad de respuestas funcionales está sustentada por las especies que contribuyen a la misma función ambiental y que pueden actuar bajo diferentes condiciones (Chapin et al., 1997, Luck et al., 2003, Folke et al. 2004), Walker et al., 1999, Walker & Langridge, 2002). Algunas especies que pueden parecer redundantes para el funcionamiento durante ciertas etapas de la dinámica del ecosistema, pueden ser críticas en otros estados, en los que las condiciones ambientales son diferentes. Son especies que aunque desempeñando la misma función, responden de manera diferente a la variación ambiental. Estas especies son capaces de mantener el servicio ecosistémico que provee derivado de un ecosistema, mientras las condiciones ambientales cambian y las especies clave (llamadas "mayores" por Walker et al., 1999), vuelven a estar presentes en números y patrones adecuados. Si el cambio es permanente, estas especies (llamadas "menores" por Walker et al., 1999) pueden suplir las funciones y por lo tanto garantizan la provisión de SE.

El papel de los grupos funcionales y de la diversidad de respuestas funcionales en la provisión de SE está claramente ejemplificada en la dinámica de los arrecifes coralinos. En

⁷ basada en los elementos de la biodiversidad y sus atributos funcionales, y en las características físicas, climáticas, hidrológicas, químicas, abióticas en general

los arrecifes de coral del Mar Caribe es evidente la relación entre la biodiversidad y la sociedad a través de los SE. En el año 2000 se estimó para el Caribe en US\$ 3.4- 4.6 billones el valor de los SE por pesquería, turismo, protección costera entre los más importantes (Burke & Maidens 2004 en Walker & Salt 2006). La provisión de estos SE depende de la integridad ecológica del arrecife que a su vez está sustentada por los grupos funcionales y la diversidad de respuestas funcionales.

En buen estado (Figura 2) el ecosistema debería tener especies de herbívoros que controlan la expansión de algas; cada una de estas especies con rangos de tolerancia ambientales diferentes. De tal manera que frente a cambios ambientales esta redundancia permite el mantenimiento de la función de herbivoría, aún cuando algunas especies del grupo funcional desaparezcan (por cambios de temperatura por ejemplo). La función es mantenida no solo por diferentes especies del mismo grupo taxonómico que actúan como el “seguro frente al riesgo”. En el caso de la función de “limpieza” del arrecife, la herbivoría la realizan especies de peces y erizos que con el adecuado balance de números poblacionales mantienen la integridad del arrecife y con ello sustentan pesquerías y turismo. Otros procesos ecológicos en el arrecife para mantener las condiciones que permitan la respuesta frente a las perturbaciones son la bioerosión y el “raspado”. Estos procesos dependen de funciones diferentes pero complementarias. Los peces herbívoros llevan a cabo la bioerosión, remueven el coral muerto dejando expuesta la matriz para el asentamiento de nuevos reclutas que renuevan los corales. Los raspadores quitan sedimentos facilitando el crecimiento de algas coralinas y corales duros. Otras especies quitan las hierbas marinas y limitan el sobrecrecimiento de macroalgas que pueden cubrir los corales. Cuando desaparece alguno de estos grupos funcionales (por sobrepesca por ejemplo) se pierde la capacidad de retener funciones críticas o restituirlas después de perturbaciones, como los huracanes en el Caribe.

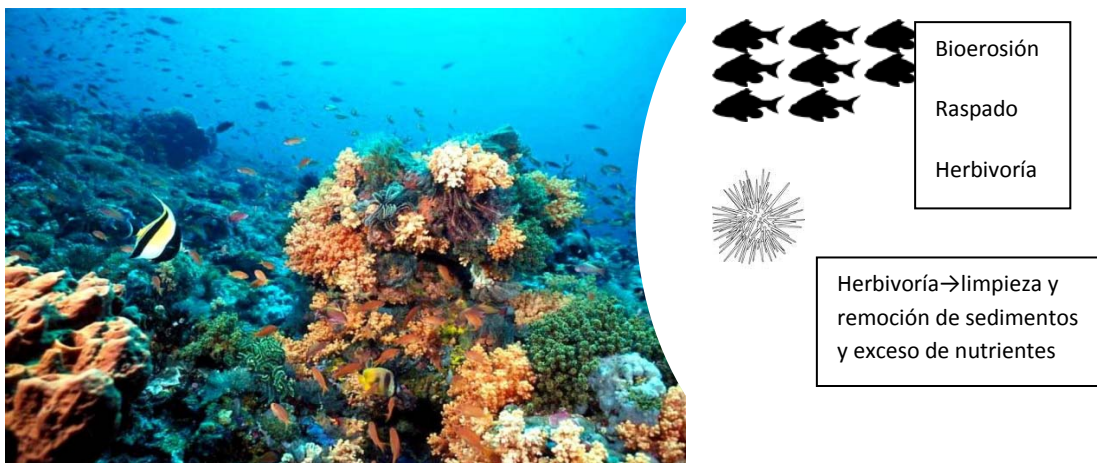


Figura 2: la presencia de grupos funcionales y diversidad de respuesta funcionales que determinan integridad ecológica y capacidad de respuesta frente a perturbaciones dan cuenta de→ pesquería, turismo, protección de línea de costa, entre otros servicios ecosistémicos

El estado de los corales del Caribe sin embargo ha sido calificado como “catastrófico” por algunos investigadores. En Jamaica por ejemplo el ecosistema se encuentra seriamente limitado en su capacidad de respuesta frente a los huracanes y otras perturbaciones. Este estado se debe a los cambios incrementales y acumulativos que tienen su origen en la sobrepesca y el aumento del aporte de sedimentos y nutrientes del área continental (Hughes 2007⁸). La ausencia de peces herbívoros controladores del crecimiento de algas, en combinación con la disminución de la función de bioerosión provocó cambios en cascada en el ecosistema. La herbivoría llegó a depender exclusivamente del erizo *Diadema* que prosperó por la disminución de sus depredadores (peces). La población de erizos, que cumplía la función de limpieza⁹ pero al mismo tiempo erosionaba el arrecife, se volvió excesiva en 1970. En 1980 una enfermedad disminuyó la población de *Diadema* y las algas cubrieron el coral.

Los arrecifes coralinos son, por naturaleza, notoriamente resilientes frente a las perturbaciones y han estado sometidos constantemente a huracanes y tormentas. Sin embargo la capacidad de responder debe estar sustentada por los elementos (grupos funcionales y diversidad de respuestas funcionales) que hacen posible la expresión de este atributo. Esta situación ya no se da en muchas áreas del Caribe y los huracanes cada vez tienen mayores efectos irreversibles en el ecosistema (Walker & Salt 2004) por una combinación de características intrínsecas y afectación por perturbaciones externas (sobrepesca, contaminación, sedimentación, entre otras).

⁸ URL:

<http://www.balticnest.org/seminarandevents/seminarandeventvideos/terryhughesgildedtrapsphaseshiftsandfisheries.5.aaea46911a3127427980003721.html;jsessionid=3870BDF3A40085CC20A6877605928A33?state=viewUnsubscribe&sv.url=12.7cf9c5aa121e17bab428>

⁹ Una sola especie responsable de la función de limpieza. Ejemplo claro de baja diversidad de respuestas funcionales

| Baja diversidad de respuestas funcionales para mantener la capacidad de respuestas frente al cambio ambiental | |
|---|---|
| Características intrínsecas | Presiones externas |
| extinción de especies hace 2 millones de años (por cambio en el nivel del mar y temperatura); baja diversidad de especies de peces y corales ¹⁰ ; baja diversidad de respuestas funcionales, ¹¹ ; huracanes (cuatro muy fuertes en 2004) | 80% de disminución de cobertura de corales duros (Gardner <i>et al.</i> , 2003); 40 millones de personas en la línea de costa; muchos países lo que limita la gestión articulada; pobreza; baja capacidad de destinación de recursos para la recuperación |

En los ambientes marinos muy frecuentemente ocurre la alteración indirecta de las características del fondo, porque hay interferencia en la composición y frecuencia de las especies que son recurso. Los organismos que permanecen cambian su relación de interacción con el medio y el lecho marino recibe los efectos por estos cambios en la cadena trófica. Este tipo de fenómeno se denomina *cascada trófica*. Los cambios se manifiestan en la alteración de los ciclos de nutrientes y de la condición química y física del medio. El efecto puede ser permanente impidiendo la restitución de la funcionalidad del sitio para sustentar la pesca futura (y otros SE como ecoturismo).

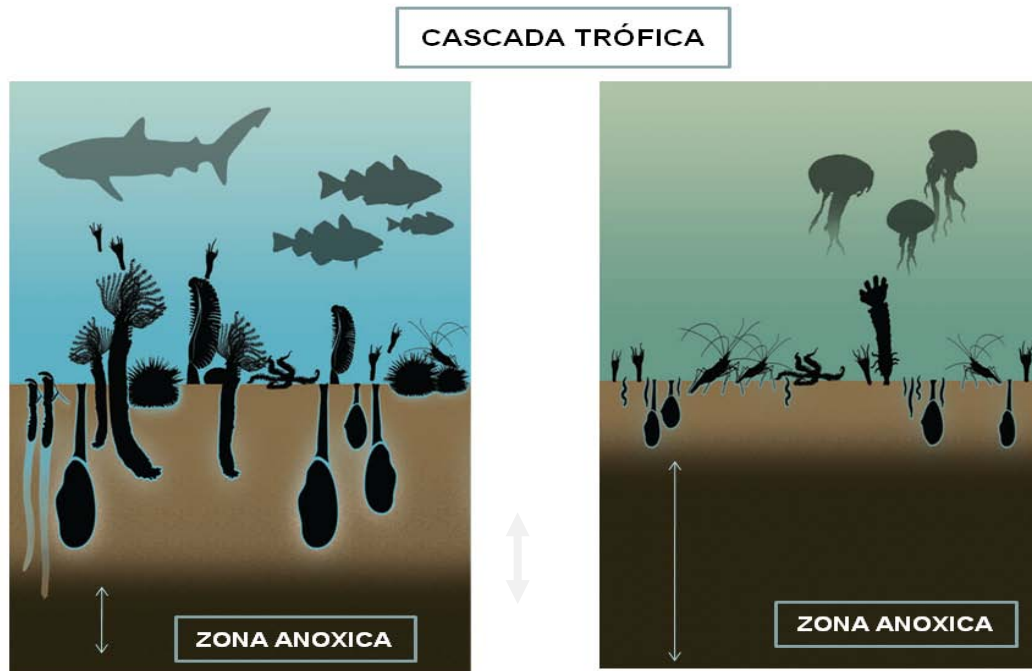


Figura 5. La sobrepesca impide procesos de control (a partir de grupos funcionales de organismos) como las explosiones demográficas de organismos que alteran irreversiblemente el fondo marino, limitando la restitución futura de la pesca en los sitios alterados. El legado de la afectación puede ser permanente. *tomado y traducido de Thrush & Dayton 2010

¹⁰ los arrecifes del Caribe tienen el 14% de las especies de coral y el 28% de especies de peces en relación con la Gran Barrera de Australia;

¹¹ hay grupos funcionales ausentes o están representados por pocas especies

3.3 la expresión de los rasgos funcionales de la biodiversidad, en sustento de los SE, depende del contexto ecosistémico y de su estado

Los ciclos de cambio de los ecosistemas se encuentran dentro de la dinámica natural y están sustentados no solamente por procesos climáticos o hidrológicos o biogeoquímicos. También estructuras físicas y su “forma” determinan la posibilidad de ocurrencia de estos procesos. Por ejemplo la pendiente típica y el borde natural de los humedales permiten la conectividad en la interface *agua-tierra* que es condición indispensable para el desarrollo de huevos y larvas y primeras etapas juveniles de muchas especies que son recurso alimenticio y económico. El contexto físico sustenta procesos ecológicos “intermedios” en la generación de servicios y bienes fundamentales para el bienestar humano. La pérdida de este contexto lleva a la pérdida de procesos de regulación, que debe ser reemplazada después de manera artificial con grandes inversiones excediendo muchas veces el costo de lo que hubiera sido necesario invertir en manejar adecuadamente el ecosistema. Tal es el caso de la depuración del agua por las macrófitas acuáticas de la zona palustre de los humedales. Por ejemplo en los humedales de montaña (Figura 3) la dependencia de procesos ecológicos en la cuenca de captación para que el agua llegue en calidad y cantidad adecuadas a la parte baja (al humedal), depende de estructuras y procesos en diversas escalas y en donde intervienen diversos grupos de organismos. La cobertura arbórea y la conectividad influyen en la captación de la lluvia al mismo tiempo que ejercen un efecto de “atenuación” de la fuerza con la que llega el agua al suelo cuando hay torrencialidad (con efectos benéficos para la estructura del suelo). La flora del soto bosque contribuye al proceso combinado de infiltración/escorrentía, lo cual ayuda a garantizar las fluctuaciones (hidroperíodo) y la cantidad de agua “aguas abajo”. Los microorganismos y macro invertebrados del suelo “adecúan” el suelo para que el agua se infiltre. Al llegar al suelo, el carbono orgánico actúa como una biomembrana que filtra contaminantes, ayuda a conservar la estructura del suelo y la materia orgánica contribuye a la retención del agua (Lal 2004; Lal et al., 2007). A su vez los acuíferos y su mantenimiento influyen en la cantidad de agua disponible aguas abajo. Cuando el agua llega a las partes bajas las macrófitas acuáticas actúan como una red de filtros de diferente “ojo de malla” que continúan con el proceso de depuración iniciado aguas arriba. También influyen en la retención del agua en el humedal y en la tasa de evapotranspiración. Si alguno de estos “pasos” del agua por los diferentes compartimentos del paisaje que dan cuenta de su cantidad, calidad e hidroperíodo es suprimido, entonces es necesaria la inversión “aguas abajo” para compensar la función que se perdió.

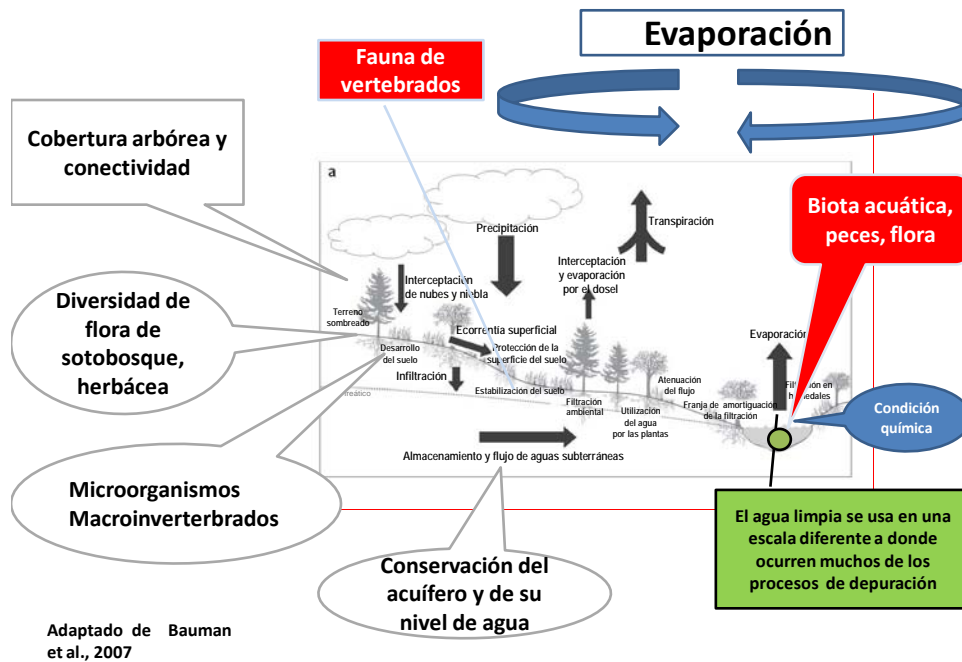
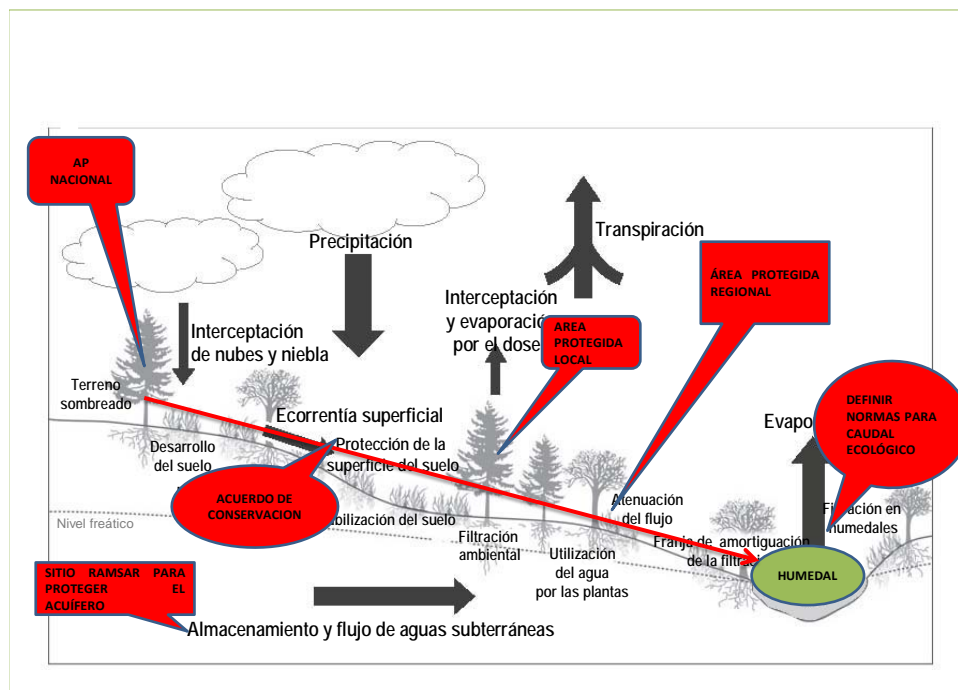


Figura 3. Los atributos en el nivel de las comunidades, como la composición y abundancia de organismos que llevan a cabo determinadas funciones dentro del ecosistema influyen en la dinámica de generación de SE: por ejemplo la comunidad de organismos que contribuyen a descomponer la materia orgánica o los que filtran nutrientes y atrapan sedimentos para que el agua permanezca en calidad óptima; los organismos que crean poros en el suelo haciendo posible el ciclado de nutrientes; o los que crean estructuras físicas determinantes de los niveles necesarios de conectividad entre hábitats similares, por ejemplo las especies creadoras de arrecifes, o en los bosques las especies que se desarrollan en *continuum*s a lo largo de gradientes altitudinales permitiendo la ocurrencia de procesos dependientes de esta variación de la altitud.

Figura 4. Proteger el “camino del agua” para que llegue en calidad, cantidad y periodicidad óptimas al sitio donde se percibe el servicio ecosistémico de agua pura para consumo humano, puede requerir la articulación, *funcional*, de múltiples estrategias (p.ej. un área protegida nacional y regional articuladas a través de un sistema, acuerdos de conservación, normas de caudal ecológico, sitio Ramsar para proteger el acuífero) que garantizarían la diversidad funcional, los procesos ecológicos, las estructuras físicas y características químicas, etc., para obtener “aguas abajo” el servicio ecosistémico. Esto evitaría grandes inversiones de dinero para limpiar el agua cuando llega al sitio donde se usa. Los sistemas de áreas protegidas y estrategias acompañantes (acuerdos, normas, entre otros) son clave en este objetivo



Adaptado de Bauman *et al.*, 2007

La conectividad en la interface tierra-agua sustenta conexiones funcionales críticas para la provisión de agua limpia y de recursos pesqueros

De acuerdo con Talley, Huxel & Holyoak (2006) la conectividad entre diferentes tipos de hábitats como los que definen la interface agua-tierra sustenta una diversidad muy alta de conexiones funcionales críticas entre hábitats terrestres y acuáticos y de manera simplificada se pueden agrupar en demográficas, físicas y tróficas. Estas conexiones tienen efectos en cascada que pueden afectar de manera fundamental la estructura de los hábitats acuáticos y terrestres en los cuales se da. Las conexiones entre hábitats resultan de cuatro unidades básicas que son los organismos, energía, materiales (nutrientes, químicos, material inorgánico, etc.) e información. La calidad de las estructuras físicas que mantienen esta conectividad, proporciona el sustento para que los procesos que dependen de la conectividad, realmente se lleven a cabo y haya influencia de un sistema a otro. La conectividad hidrológica en la interface agua-tierra permite además los pulsos de inundación que determinan los cambios estacionales en el nivel de agua de las llanuras de inundación en la Amazonia (Middleton, B. 2002). La interconexión de un río y su llanura de inundación (llanura aluvial), es crítica porque las funciones como la producción, descomposición y consumo están determinadas por la periodicidad y frecuencia de las inundaciones. Esta condición se pierde porque se altera, o desaparece, la conectividad en la interface agua-tierra.

En los humedales de montaña la ruptura de la conexión entre el borde natural de los ecosistemas acuáticos y el entorno terrestre altera funciones específicas que confieren al ecosistema capacidad de respuesta frente a las alteraciones climáticas y sus efectos sinérgicos con otros determinantes del cambio ecosistémico. Dos importantes funciones que pueden alterarse y perderse son: 1) *pérdida de la capacidad de depuración del agua*, antes que llegue al ecosistema. La vegetación de borde, al igual que la vegetación leñosa que se encuentra en la cuenca de captación de los humedales cumple la doble función de depuración de contaminantes y de filtración de sedimentos. Si se conservan las orillas naturales de los humedales se preserva una red de filtros, desde muy gruesos (en la cuenca) a muy finos (vegetación palustre y lacustre) en el borde y dentro del agua. Estos filtros contribuyen a garantizar la disminución del aporte de sedimentos y sustancias contaminantes. Además las cuencas ganaderas y agrícolas con mayores intervenciones humanas son ricas en nutrientes exógenos, especialmente fósforo, que al tener concentraciones mayores de las que el ecosistema puede depurar, se verán afectados por los síntomas de la eutrofización; 2) *pérdida de la capacidad de atenuación de la velocidad con que el agua llega al humedal*. La fuerza con la que llega el agua puede acarrear daños estructurales (físicos) importantes para otras funciones o procesos de los humedales. En particular en los humedales de alta montaña la torrencialidad, exacerbada por cambios en los patrones climáticos, en sinergia con la condición intrínseca propia de inestabilidad geomorfológica de estos ambientes, puede traer consigo mayor aporte de sedimentos y detrimento de la calidad y cantidad de agua.

4. La alteración de la biodiversidad y los procesos ecosistémicos afecta la prestación de servicios ecosistémicos

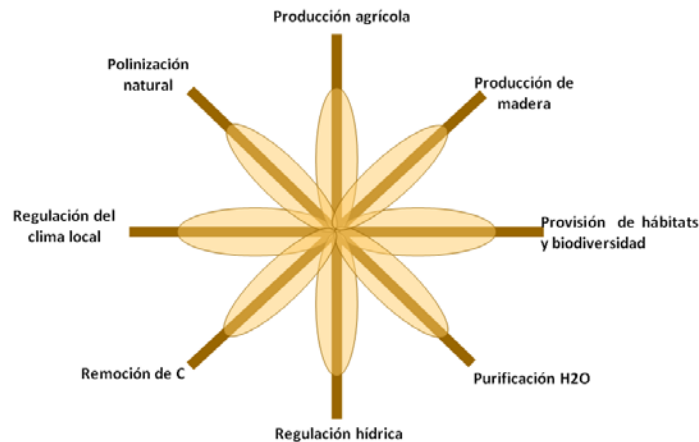
“La base para la resiliencia de los sistemas sociales y ecológicos, [ecosistemas] es el uso sostenible de los servicios ecosistémicos sin comprometer un servicio vital cuando se usa o aprovecha otro” (Schroter 2009, p. 106). Esta afirmación es el sustento del concepto de sostenibilidad definido por Thrush & Dayton (2010) como la viabilidad de largo plazo en el uso de los servicios ecosistémicos sin la degradación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y valores que de ella se derivan.

De acuerdo con Schroter (2009) puede haber tres razones principales del manejo no sostenible de los servicios ecosistémicos (que pueden manifestarse de manera simultánea en el mismo territorio):

| Razón principal de manejo no sostenible de SE |
|---|
| 1. los servicios ecosistémicos no son reconocidos, ni identificados. |
| 2. se maximiza y se da prioridad a un servicio ecosistémico particular en detrimento de otros. No se consideran las afectaciones en la funcionalidad total del ecosistema |
| 3. un servicio ecosistémico se usa de manera no sostenible porque sencillamente no hay otra opción. Se requiere satisfacer una necesidad inmediata y vital y no hay alternativa |

Cuando suceden las alteraciones de los ecosistemas que llevan a cambios irreversibles, la biodiversidad (*sentido amplio*) pierde la capacidad de mantener la provisión de los servicios ecosistémicos comenzando así las relaciones disfuncionales hombre-naturaleza con consecuencias como sobreexplotación de recursos para suplir necesidades básicas (antes recibidas con generosidad desde la naturaleza) degradación de los territorios, y disminución del bienestar humano¹². El ciclo continúa con mayor sobreexplotación, mayor degradación ambiental y acentuación de baja calidad de vida.

¹² muchas veces medido como aumento de pobreza, aunque hay cuestionamientos al énfasis de la pobreza, medida en términos monetarios, como indicador de calidad de vida



Tomado y adaptado de Huitric M (Ed.) 2009

FLOR TIPO 4

en

En la siguiente gráfica adaptada de Karr (2000), se representa de manera teórica la relación entre la biodiversidad (sentido amplio) y la generación de múltiples servicios ecosistémicos en un territorio, vista esta relación a través del lente de la integridad ecológica¹³. Se ha propuesto que en la medida que el sistema biofísico pierde integridad ecológica en el *continuum* de situaciones de influencia humana (y la sinergia de los efectos de esta influencia con las perturbaciones naturales), la prestación de servicios ecosistémicos de provisión (como la producción agrícola por ejemplo) disminuye, hasta desvanecerse

¹³ En el marco de la MIM-SINAP el concepto de integridad ecológica fue identificado en 2008 como uno de los temas en los cuales es necesario profundizar. La importancia del concepto y las implicaciones concretas en investigación, conservación, manejo, política, así lo ameritan.

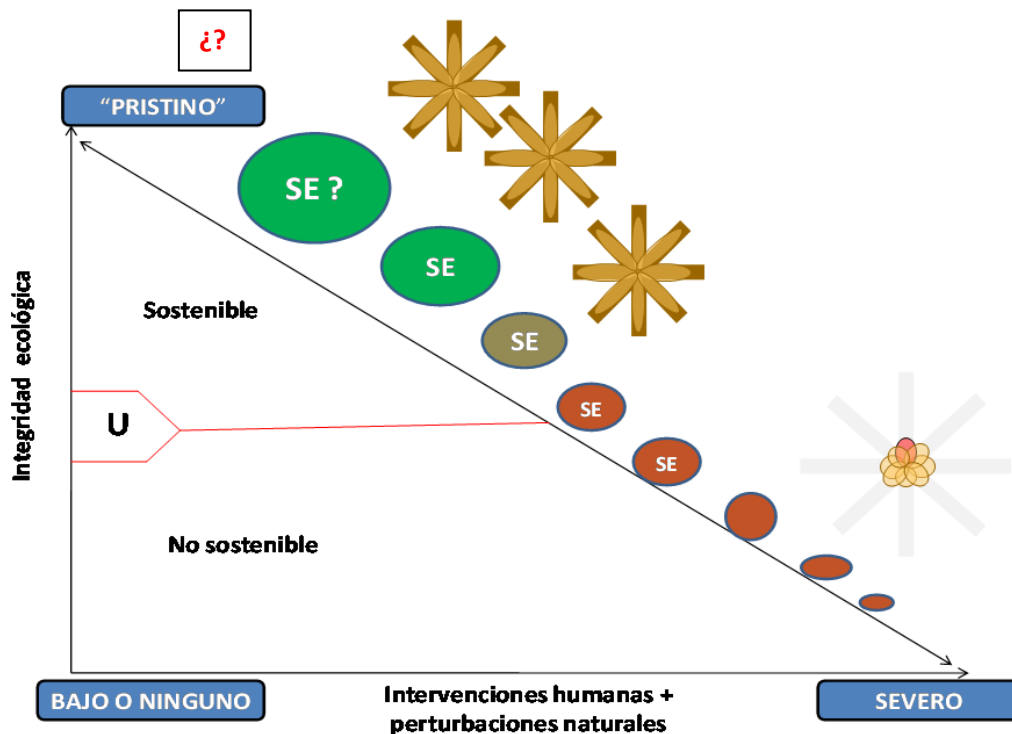
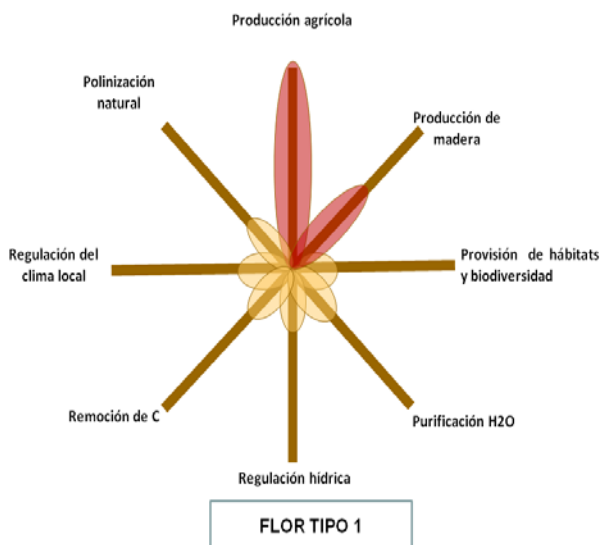


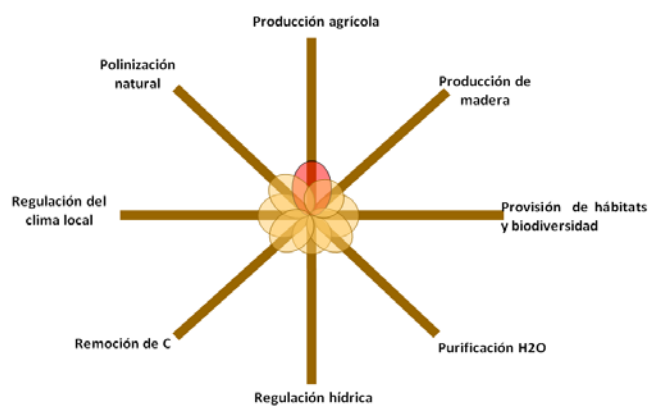
Figura 6. La relación, *probable*, de Integridad ecológica y generación de Servicios ecosistémicos

En esta trayectoria el ecosistema pasa por etapas de máxima producción (Flor tipo situación 1,), en parte por la capacidad humana de control de posibles perturbaciones que disminuyen la producción (p.ej. adición de agroquímicos para aumentar la producción y evitar enfermedades).



Los sistemas agrícolas tienden a maximizar la producción enfatizando un solo SE en detrimento de otros. Cambiar el enfoque de manejo agrícola para que haya balance en todos los SE fue una de las recomendaciones clave del MEA. Esto contribuiría a aumentar la resiliencia de los paisajes agrícolas a los cambios irreversibles, ya que se mantendría la diversidad funcional y la diversidad de respuestas funcionales (Gordon, Peterson & Bennett 2007)

Después de un estado de máxima producción son comunes situaciones como la representada por la Flor tipo situación 2, en las cuales los cambios incrementales en el sistema llevan a la transformación irreversible y por lo tanto a la imposibilidad del sistema para proveer SE en magnitud y frecuencia necesarias. Por ejemplo, la memoria de la eutrofización en los lagos puede ser permanente (irreversible), o de muy largo plazo y solamente reversible si hay reducción masiva del aporte de fósforo (P) durante muchas décadas, e incluso en plazos mayores. Esta reducción permitiría los ciclos internos del P en el ecosistema y su acumulación en el sedimento del fondo, disminuyendo con ello los síntomas de la eutrofización¹⁴.

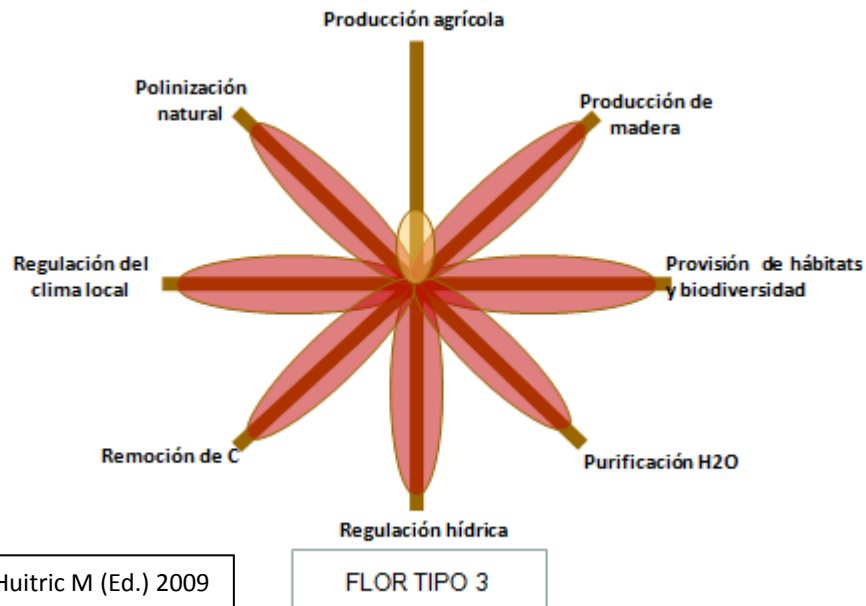


Tomado y adaptado de Huitric M (Ed.) 2009

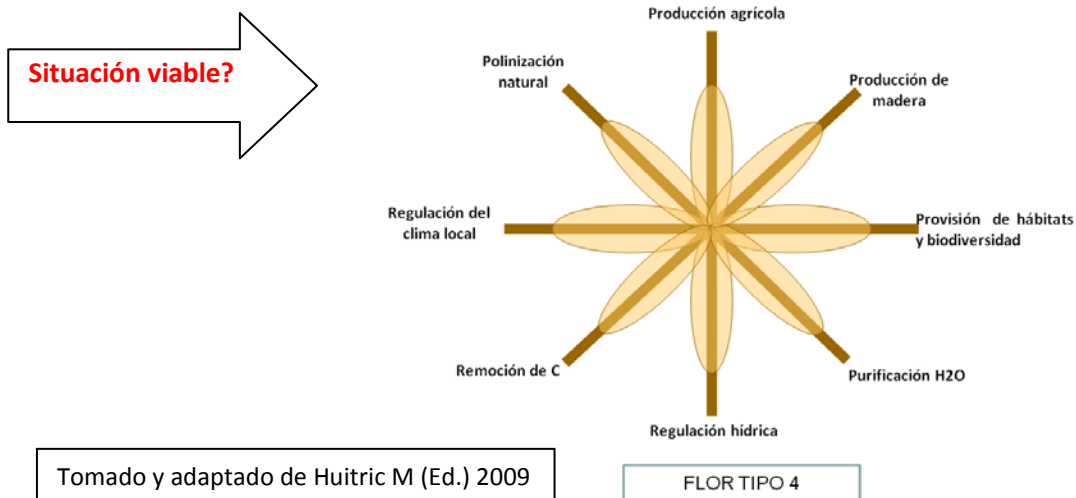
FLOR TIPO 2

La situación opuesta, “máxima integridad ecológica” no necesariamente es el escenario de mayor producción de alimentos (Naylor *et al.*, 2009) (Flor tipo 3).

¹⁴ Sin embargo la reducción del aporte de P a un lago implica decisiones mayores relacionadas con los sistemas agropecuarios y su productividad, en el mediano y largo plazo, en las cuencas de captación de los humedales por ejemplo.



En teoría la situación “ideal” debería ser la de territorios “multifuncionales” (Flor tipo 4) donde la generación de todo tipo de servicios ecosistémicos, de manera balanceada, permaneciera en el largo plazo (Taylor & Johnston 2009). Sin embargo la demanda creciente de la sociedad, el estado actual del territorio, los impulsores del cambio ambiental, limitan o impiden, situaciones de este tipo. Es aquí cuando es necesario considerar los posibles *trade-offs* en la generación de servicios ecosistémicos para poder tomar decisiones de manejo informadas y consientes de las posibles pérdidas ecológicas y culturales cuando se debe privilegiar algún SE.



La investigación sobre SE debe contribuir a establecer en cuál zona de la Figura 6.(Integridad ecológica y generación de Servicios ecosistémicos) se encuentra el territorio que provee SE, y con ello reorientar la trayectoria de gestión para mantener las funciones, funcionalidad y SE.

5. Los vínculos de la biodiversidad y la dinámica de provisión de servicios ecosistémicos. Algunos puntos de consenso

El vínculo entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos se encuentra en todos los niveles de la organización biológica y escalas espaciales del territorio. Esta afirmación se basa en numerosas investigaciones y metanálisis mediante los cuales se ha logrado establecer aspectos concretos de la biodiversidad (p.ej. atributos funcionales de una (s) especie ligados con un determinado servicio ecosistémico) que vinculan su expresión (en todos los ámbitos) con la generación de servicios ecosistémicos.

Aunque hay certeza en la relación biodiversidad y servicios ecosistémicos, hay también muchos vacíos e incertidumbre que es necesario abordar para avanzar en el conocimiento de esta dinámica. A continuación se presentan algunos aspectos¹⁵ sobre la generación de SE y que han sido abordados por las investigaciones en el tema. Algunos tienen alta certeza, en otros todavía persiste la incertidumbre y es necesaria mayor investigación. Estas conclusiones necesariamente son generales y es muy probable que para territorios específicos o servicios ecosistémicos particulares, la certeza sea mayor o menor. Sin embargo estas conclusiones pueden contribuir a orientar la formulación de una agenda de investigación sobre el tema.

15 (con base en Hooper *et al.*, 2005; De Groot *et al* 2002; Holling 2007; Cummings *et al.* 2006; Galaz *et al.* 2008 ; Díaz y Cabido 2001 en Polanía *et al.*, 2010, Hillebrand y Matthissen 2009 en Polanía *et al.*, 2010, entre otros autores)

1. La generación de un SE no es el producto de una relación 1:1 entre un elemento de la biodiversidad y un proceso ecológico. Es el resultado de múltiples interacciones en diferentes escalas espaciales, temporales y niveles de la organización biológica
2. **La abundancia relativa de una sola especie, considerada clave en la provisión de SE, no es siempre un criterio suficiente que indica el estado de la generación de un determinado SE. Una sola especie, rara por ejemplo, pueden afectar el flujo de materia y energía que sustenta una función del ecosistema y un servicio ecosistémico**
3. Las características funcionales de las especies influyen de manera muy importante en las propiedades de los ecosistemas y en las interacciones entre especies. Esto se manifiesta en la generación de SE
4. **Existe un creciente consenso en que los grupos o tipos funcionales tienen mayor relación con el funcionamiento y los procesos de los ecosistemas, que la que puede tener la diversidad medida solo como el número de especies presentes en un área. La evidencia apunta a que la diversidad funcional es el componente que mejor explica los efectos de la biodiversidad en la mayoría de los servicios vitales para el bienestar humano**
5. Al tener un rango de especies que responden de manera diferente a las perturbaciones ambientales se puede tener un efecto estabilizador en la generación de SE, cuando hay variación en las condiciones abióticas. Usando prácticas de manejo que mantienen la diversidad de organismos con diferente efecto funcional y respuesta funcional, se contribuirá a preservar la flexibilidad en las opciones de manejo
6. **La alteración de la biota, vía invasiones biológicas¹⁶ y extinción, causada por la intervención humana ha alterado los bienes y servicios (y esto está documentado en muchos casos)**
7. Algunas propiedades de los ecosistemas inicialmente pueden no tener afectación por la pérdida de elementos de la biodiversidad porque: i) los ecosistemas pueden tener múltiples especies que llevan a cabo funciones similares (redundancia funcional); ii) algunas especies pueden contribuir relativamente poco a las propiedades de los ecosistemas; iii) las propiedades pueden estar controladas principalmente por condiciones ambientales abióticas
8. **Los servicios ecosistémicos son proporcionados en diferentes escalas espacio-temporales. Por ejemplo, la regulación del clima y el almacenamiento de carbono ocurren a escala global, mientras que, la protección contra inundaciones, el ciclado de nutrientes, el tratamiento de residuos, ocurren a escala regional y la formación del suelo, y la polinización pueden ser de escala local**
9. La evaluación de SE requiere aproximaciones multidisciplinarias porque los beneficiarios y los ecosistemas que proveen operan e interactúan en diferentes escalas.
10. **Debe haber alineación entre la dinámica de la naturaleza, las escalas espaciales y temporales de los procesos que sustentan la generación de SE, y la institucionalidad para incorporar en la gestión estas escalas y la variabilidad ecosistémica que permita mantener los elementos estructurales y funcionales, y los mecanismos, que dan cuenta de los dominios de estabilidad de los sistemas biofísicos y son la base de la generación de los SE.**

¹⁶ Las especies exóticas también tienen “características funcionales”

Los criterios de estudio y manejo de los servicios ecosistémicos, deben considerar las amenazas *trans-sistemas* ya que son especialmente relevantes la influencias funcionales reciprocas mar-agua (continental)-tierra. La mayoría de las superficies terrestres están ligadas con los océanos a través de los ríos que actúan como conductores de las perturbaciones de origen antrópico. Por ejemplo la contaminación y alteración de habitats por uso de la tierra pueden afectar la viabilidad de las especies marinas, terrestres y costeras (caso en Colombia: los corales de la Bahía de Cartagena)

6. La investigación: piedra angular de un sistema de soporte de decisiones sobre servicios ecosistémicos

Integrar las ciencias económicas y ecológicas en un sistema de soporte de decisiones que sea operativo está identificada, por el MEA (2005) como una estrategia clave para la conservación y la sostenibilidad en el ámbito global. Esto quiere decir hacer explícito y operativo el vínculo entre la biodiversidad y los sistemas sociales. La naturaleza holística del concepto de servicios ecosistémicos permite avanzar en este objetivo, y uno de los componentes esenciales es la investigación para tomar decisiones ajustadas y sustentadas sobre el manejo de SE. Un sistema de soporte de decisiones debería contribuir a identificar la dirección de la trayectoria de los sistemas ecológicos y sociales como resultado de la dinámica de uso de los servicios

ecosistémicos (por ejemplo en cual “zona” de la Figura 6 que muestra la relación entre la biodiversidad y los SE a través del lente de la **integridad ecológica**) se encuentra el ecosistema). De manera ideal con la información de un sistema tal se debería poder adaptar el manejo, para reorientar la trayectoria de la generación de los SE.

Polanía et al. 2010 señalan que “esta forma de abordar la biodiversidad no pretende sustituir las formas clásicas de estudiar y sistematizar la composición, estructura, riqueza y diversidad florística o las formas de entender la evolución de los rasgos dentro de las especies. Representa un enfoque complementario que surgió ante la necesidad de diagnosticar y predecir el funcionamiento de los ecosistemas como respuesta los inminentes cambios a escala global directamente asociados con el efecto en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas”

A través de un sistema de soporte de decisiones sobre SE se debería poder:

- **identificar los servicios ecosistémicos.** Aunque este aspecto parece simple y obvio, constituye una de las causas de desajuste de la gestión (entre la dinámica de la generación de SE, su uso y la institucionalidad necesaria para el manejo) que lleva en el mediano y largo plazo a la disminución y agotamiento de los SE. Uno de los retos mayores se encuentra en la identificación de los SE que no tienen valor en el mercado (servicios intermedios) pero que son esenciales para la generación de los que si lo tienen. Por ejemplo la identificación de los SE en relación con los sectores productivos (empresas) es necesaria no solo para establecer los posibles impactos de las

actividades del ciclo de producción; es indispensable también para conocer la dependencia de estos sistemas (su base productiva) de los SE¹⁷.

- **identificar los elementos estructurales (físicos y biológicos) y funcionales que determinan la provisión de los SE.** Se relaciona con el punto anterior y busca establecer de manera explícita cuál (s) elementos de la biodiversidad (estructurales y funcionales) determinan la generación de SE. Aquí además necesariamente se requiere conocer las características funcionales de los proveedores, cuál es el contexto ecosistémico necesario para la expresión de estos rasgos funcionales y cómo es la interacción entre ellos para que, *finalmente*, se tenga el servicio.
- **identificar la escala de generación de SE.** Muchos servicios ecosistémicos requieren para su generación y mantenimiento múltiples escalas espaciales y temporales y esto está relacionado con la dinámica y funcionamiento ecosistémico. La identificación de la escala contribuye al objetivo de ajuste, *alineación*, entre la dinámica de generación de SE y la institucionalidad necesaria para su gestión.
- **identificar la escala de aprovechamiento de SE.** La escala de aprovechamiento y generación de SE puede ser diferente y esto puede llevar a que la percepción, o reconocimiento, por parte de los beneficiarios (usuarios) de SE sobre las escalas espacio-temporales requeridas para que se reciba el beneficio, se desvanezca. Lo anterior tiene implicaciones en la identificación de SE intermedios y en los beneficiarios intermedios y finales.
- **identificar los beneficiarios (usuarios?) de los SE.** Quienes (en un territorio, paisaje, ecosistema particular) usan los SE, cuál es su grado de dependencia de los SE y cómo es la dinámica acoplada de este uso. En especial este aspecto toma relevancia a partir del reconocimiento que en el proceso ecológico de generación de un servicio ecosistémico (por ejemplo agua limpia) suceden innumerables pasos intermedios (otros procesos) que en si constituyen servicios ecosistémicos para actores diferentes de los que se benefician del servicio “final” (el “producto” final puede ser agua limpia). En este aspecto se ha planteado incluso la categorización *usuarios intermedios* y *usuarios finales*.
- **Identificar las interacciones** físicas/ecológicas y socioeconómicas porque la demanda y oferta de SE operan e interactúan en diferentes escalas
- **identificar los “trade-offs” (concesiones)** que subyacen a la generación de los SE y sobre los cuales es necesario decidir para orientar la trayectoria. La complejidad surge, y aumenta en este caso, porque cada vez es más difícil decidir qué es lo que se debería privilegiar en un territorio, y esto se debe en parte al estado de transformación de los paisajes, que aleja de la posibilidad de tener paisajes multifuncionales (Flor situación tipo 4); también a las demandas crecientes. Los **trade-offs** no solo están en función de los aspectos ecológicos de la generación de SE; se refieren también a los

¹⁷ Esto permite, en el caso de las empresas, identificar los posibles riesgos económicos, de no considerarlos en las decisiones sobre la producción. Por ejemplo para un sector productivo el no considerar los servicios ecosistémicos culturales de la región que “provee” la base productiva para una empresa, puede traer consigo pérdidas económicas cuando se encuentra que no son compatibles en el mismo territorio la producción y el SE cultural, y se prioriza el mantener el servicio cultural.

aspectos sociales y los actores que intervienen en la generación de SE y en su aprovechamiento.

- **conocer los determinantes de los cambios, la disminución, de los SE.** Se trata de entender como están siendo afectados los servicios ecosistémicos por causa de los diferentes determinantes del cambio ambiental, y desarrollar herramientas para predecir cómo estos cambios pueden afectar la provisión de SE en el futuro. En la medida que un sistema social intervenga de manera importante las variables estructurantes, *de cambio lento*, de un sistema ecológico, su dinámica se puede ver alterada más allá de los límites que le permiten reorganizarse y ello trae consigo la disminución de los SE.
- **mapear los SE y poder evidenciar las zonas en riesgo de transformación y cambio.** El mapeo de SE se ha propuesto (y hay avances importantes: Schroter *et al.* 2005; Schroter D. & Metzger 2006), como una herramienta clave para el monitoreo de la trayectoria de los SE. Permite ubicar espacialmente las asociaciones de múltiples SE, los elementos del sistema biofísico que los sustentan, los beneficiarios intermedios y finales, entre otros aspectos. Además conociendo los determinantes del cambio ambiental en el territorio cartografiado, el análisis combinado de la ubicación de SE y las intervenciones con el potencial para afectar la generación y mantenimiento de SE, se pueden tener mapas ajustados de vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos (frente a cambio climático por ejemplo) para tomar mejores decisiones.

7. Bibliografía citada y consultada

Barthem R. & Goulding M. 2007. Un ecosistema inesperado. La Amazonía revelada por la pesca. 242 p. ISBN: 978-9972-2912-8-9

Binning C., S. Cork, R. Parry, D.S. Shelton. 2001. Natural assets: An inventory of ecosystem goods and services in the Goulburn Broken Catchment. (CSIRO: Canberra). <http://www.ecosystemsproject.org/>

Brauman K., G.C. Daily, T.K. Duarte y H.A. Mooney. 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 32:67–98.

Carpenter S., Mooney H., Agard J., Capistrano D., DeFries R., Díaz S., Dietz T., Duraipah A., Oteng-Boahen A., Pereira E., Perrin C., Reid W., Sarukhan M. J., Scholes R., & Whyte A. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNS*, Vol. 106, No. 5: 1305-1312. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0808772106

Chapin, F., Carpenter, S., Kofinas, G., Folke, K., Abel, A., Clark, W., Olsson, P., Stafford, M., Smith, J., Walker, B., Young, O., Berkes, F., Biggs, R., Grove, M., Naylor, Pinkerton, E.,

Steffen, W., Swanson, F. 2009. Ecosystem stewardship: sustainability strategies for a rapidly changing planet. *TREE* 1203, in press (junio 2010)

Cipriotti, P., Cornelissen H., Feld, C., Hering, C., Martins da Silva, P., Potts, S., Sandin, L., Sousa, J., Storkey, J., Wardle. 2008. Functional traits underlie the delivery of ecosystem services across different trophic levels. The RUBICODE Project. Rationalising Biodiversity Conservation in Dynamic Ecosystems. Funded under the European Commission Sixth Framework programme

Cipriotti, P., Feld, F., Hering, C., Martins da Silva, P., Potts, S., Sandin, L., Sousa, J., Storkey, J., Wardle, D., Harrison, P. 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodivers Conserv* DOI 10.1007/s10531-010-9850-9.

Constanza R., R. D'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, M. Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*: vol 387. pp 253-260. http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf

Costanza, R; d'Arge, R; De Groot, R; Farber, S; Grasso, M; Hannon, B; Naeem, S; Limburg, K; Paruelo, J; O'Neill, RV; Raskin, R; Sutton, P; Y van den Belt, V. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.

Cumming, G. S., D. H. M. Cumming, and C. L. Redman. 2006. Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecology and Society* 11(1): 14. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art14/>

Daily G.C. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Ed. Island Press. 392 pp.

Daily G.C., S. Alexander, P.R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P.A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S.H. Schneider, D. Tilman, G.M. Woodwell. 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. <http://www.wvhighlands.org/VoiceJun99/EcoServices.JS.June99Voice.txt.htm>

de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J., Bardgett, R., Berg, M., Díaz S; Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16(11): 646-655. DOI 10.1007/s1011300600202

Díaz, S; Gurvich, D; Perez-Harguindeguy, N; Cabido, M. 2002. ¿Quién necesita tipos funcionales de plantas?. Artículo invitado, *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 37(1-2): 135-140

Ehrlich, P. and Ehrlich, A., 1981. *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York.

Fisher B., Turner K., Zylstra M., Brouwer R., De groot R., Farber S. Ferraro P. Green R., Hadley D. Harlow J., Jeffris P. Kirby C., Morling, Mowatts S., Naidoo R. Paavola J., Strassburg B., Doug Y., & Balmford A. 2008. *Ecosystem Services and Economic Theory: Integration Policy Relevant Research*.

Folke, C., S. Carpenter, B. Walter, M. Scheffe, T. Elmqvist, L. Gunderson and C.S. Holling. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev.Ecol.Syst.* (35): 557-581.

Galaz V., Olsson P., Hahn T., Folke C., & Svedin U. 2008. The Problem of Fit Among Biophysical Systems, Environmental and Resource Regimes and Broader Governance Systems.

Gunderson L., C.S. Holling. 2002. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Ed Island Press. Washington, D.C. 507 p.

Halffter G. & C. Moreno. 2005. Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma. Zaragoza, España. ISBN: 84-932807-7-1. Pp 5-18

Harrington R., Anton, C. Dawson T., de Bello F., Feld C., Haslett J., Kluva'nkova-Oravska T., Kontogianni A., Lavorel S., G., Rounsevell A., Samways M., Settele J., Skourtos M., Spangenberg J., M., Vandewalle, Zobel M., Harrison P. 2010. Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary.

Haslett J., P Berry & M Zobel. 2009. European habitat management strategies for conservation: Current regulations and practices with reference to dynamic ecosystems and ecosystem service provision. The RUBICODE Project.

Huitric M (Ed.), Walker B, Moberg F, Österblom H, Sandin L, Grandin U, Olsson P and Bodegård J. 2009. Biodiversity, Ecosystem Services and Resilience – Governance for a Future with Global Changes. Background report for the scientific workshop »Biodiversity, ecosystem services and governance –targets beyond 2010« on Tjärnö, Sweden, 4-6 September 2009.

Hillebrand H. & Matthiessen B. 2009. Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional diversity research. Ecology letters 12: 1405-1419

Holling, C.S. 1998. Two cultures of ecology. Conservation Ecology [online] 2(2): 4. URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art4/>

Hooper D.U., F.S Chapin, J.J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. Lawton, D.M Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, II Setälä, A.J Symstad, J Vandermeer, D.A Wardle. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological monographs. 75 (1). Pp 3-35.

Hughes T. 2007. Gilded traps, phase-shifts and fisheries. Stockholm Resilience Center Seminar (video). URL: <http://www.balticnest.org/seminarandevents/seminarandeventvideos/terryhughesgildedtrapsphaseshiftsandfisheries.5.aeea46911a3127427980003721.html;jsessionid=3870BDF3A40085CC20A6877605928A33?state=viewUnsubscribe&sv.url=12.7cf9c5aa121e17bab42800012948> (fecha de consulta: Junio de 2008)

Karr J., 2000. Health, Integrity and Biological Assessment: The importance of Measuring Whole Things, 209-226. En: Pimentel D., L Westra & R. Noss. 200. Ecological Integrity. Integrating Environment, Conservation, and Health, 428p. ISBN: 1-55963-807

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. R. Lal. 2004. Science Vol. 304

Lal, R., R. F. Follet, B. A. Stewart, & J. M. Kimble. 2007. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. Soil Science. Vol. 172, No. 12 :943-956

Luck, G.W., G.C. Daily, and P.R. Ehrlich. 2003. Population diversity and ecosystems services. Trends Ecol. Evol. 18:331-336

Middleton, B. 2002. The Flood Pulse Concept in Wetland Restoration National Wetlands Research Center, USGS, Lafayette, Louisiana

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). 2010. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. *Documento en revisión* (fecha de consulta Julio 10 de 2010)

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. Vol. 1. Washington, DC: World Resources Institute

Naylor, R. L. 2009. Managing Food Production Systems for Resilience. P. 259-280. En: Chapin, F. S., G. P. Kofinas & C. Folke. (Eds.). 2009. Principles of Ecosystem Stewardship. Resilience-Based natural Resource Management in a Changing World. 401 p. Springer. 978-0-387-73032-5.

Naylor, R. L. 2009. Managing Food Production Systems for Resilience. P. 259-280. En: Chapin, F. S., G. P. Kofinas & C. Folke. (Eds.). 2009. Principles of Ecosystem Stewardship. Resilience-Based natural Resource Management in a Changing World. 401 p. Springer. 978-0-387-73032-5.

Piñeros A.M. y L.G. Baptiste. 2006. Los bienes y servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad a los sistemas de producción. Revista Ambiente y Desarrollo No. 17-18 (nov. 2005 -. jun. 2006), p. 41-65.

Polania C., Pla L. & Casanoves F. 2010. (*documento en preparación* por el CATIE, Costa Rica) Diversidad funcional y servicios ecosistémicos.

Schroter D. 2009. Our vulnerability to Changes in Ecosystem Services. En: Patt A., D. Schroter, R. Klein & A De La Vega. 2009. Assessing vulnerability to Global Environmental Change. Making research useful for adaptation decision making and policy. 258 p. ISBN: 978-1-84407-697-0

Schroter D. & Metzger M. 2006. Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe. *Reg Environ Change* 6:201–216

Schroter D., Polsky C. & Patt A. 2005. Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight steps approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 573–596

Talley D. M., G. Huxel & M. Holyoak. 2006. Connectivity at the land–water interface. P. 97-129. En: Crooks, K. & M. Sanjayan (Eds.). 2006. *Connectivity Conservation*. Cambridge Press. 700p.

Taylor S. & Johnston D. 2009. Creating multifunctional landscapes: how can the field of ecology inform the design of the landscape?. *Front Ecol Environ* 2009; 7(4): 212–220, doi:10.1890/070178

Terborgh J. & J. Estes (ed.). 2010. *Trophic cascades: Predators, prey and the changing dynamics of Nature*. Island Press.

Thrush S. & P. Dayton. 2010. What Can Ecology Contribute to Ecosystem-Based Management?. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2010. 2:419–41

Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. and Garnier, E. (2007). Let the concept of the trait be functional. *Oikos*, 116, 882-892.

Walker B. & D. Salt. 2006. *Resilience thinking. Sustaining ecosystems and people in a changing world*. 165 p, Island Press, Washington D.C.

Walker, B.H. & Langridge, J. 2002. Measuring Functional Diversity in Plant Communities with mixed Life Forms: a Problem of Hard and Soft Attributes. *Ecosystems* 5: 529-538

Walker, B.H., A. Kinzig and J.L. Langridge. 1999. Plant attributes diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems* (2): 95-113.