

EL ROL DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS EN LA MITIGACIÓN DE RIESGOS NATURALES DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA PERSPECTIVA DE EVALUACIÓN DESDE LA SOSTENIBILIDAD ECOLÓGICA

Marisela González-Rivera, Ph.D.(c)¹, Antonio Gómez-Sal, Ph.D²

Recibido 10 de marzo de 2015; aceptado 11 de agosto de 2015

Resumen – La mitigación del riesgo de peligros naturales debe considerar seriamente el estado de los ecosistemas para la toma de decisiones sobre la planificación territorial y la adaptación al cambio climático. Con el fin de evaluar los servicios de los ecosistemas, como los peligros naturales reguladores, debemos analizar la integridad ecológica y estimar su capacidad. El enfoque de “adaptación basada en los ecosistemas” parece ser apropiado. Esta propuesta pretende indicar fases metodológicas para desarrollar la aplicación práctica. De esta manera, podemos obtener elementos que mejoran la conservación de las funciones de los ecosistemas. Además, establecemos criterios para las redes de protección de los ecosistemas que aseguren sus servicios como reguladores contra los efectos locales de peligros naturales, cada vez más intensificado por el cambio climático, y su capacidad de resistencia frente al impacto de los eventos naturales con potencial catastrófico.

Palabras clave: Adaptación Basada en Ecosistemas, Servicios ecosistémicos de Regulación, resiliencia, modelo de sostenibilidad ecológica, mitigación de peligros naturales.

Abstract – Risk mitigation from natural hazards should strongly consider the state of ecosystems for decision-making on territorial planning and adaptation to climate change. Analysis of ecological integrity and estimates on capability are necessary to evaluate ecosystem services, for example, those of natural hazard regulators. The Ecosystem-based Adaptation approach seems appropriate. This proposal seeks to specify methodological phases to develop practical applications. Using this approach, we can identify the elements that enhance the conservation of ecosystem functions. In addition, we establish criteria for ecosystem protection networks to assure their services as regulators with mitigating potential against local effects from natural hazards intensified by climate change. The resilience of ecosystems facing the impact of natural events with catastrophic potential is also considered.

Keywords: ecosystem-based adaptation, ecosystem services as regulators, resilience, ecological sustainability model, natural hazard mitigation.

¹ Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Ecología, Programa de Cambio Global y Desarrollo Sostenible. Email: marisela@inbox.com

² Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Ecología, Director Comité Científico, Observatorio de Sostenibilidad de España

Introducción

El *Estudio sobre los Servicios de los Ecosistemas Corporativos* inicia su escrito con las siguientes palabras “El calentamiento global domina la mayoría de los titulares hoy día. La degradación de los ecosistemas lo hará el día de mañana” (World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute, 2008, p. ii). Pese a este señalamiento, lo cierto es que la degradación de los ecosistemas está ya muy presente en la actualidad. Así lo determina el informe *Evaluación de Ecosistemas del Milenio* (MA, por sus siglas en inglés), el cual tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas y las bases científicas sobre las que apoyar las acciones necesarias para mejorar su conservación, uso sostenible y contribución al bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En su conclusión número uno, este documento señaló que:

En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esto ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida sobre la Tierra (p. 1)

Este periodo de cambio exponencial de consumo y sus efectos sobre los recursos ha sido recientemente nombrado como “la gran aceleración” (Hibbard et al., 2006), la etapa más reciente del Antropoceno (Steffen, Crutzen, & McNeill, 2007). A consecuencia de la degradación de los ecosistemas, los servicios prestados por éstos para el bienestar humano han disminuido substancialmente (Daily et al., 1997). Al trasladar estas conclusiones a la escala local/regional resulta urgente la necesidad de un diagnóstico de los ecosistemas para evaluar su capacidad de aportar dichos servicios (Constanza et al., 1997; Gómez-Sal, 2001).

La degradación de los ecosistemas debido a la presión de los usos incrementa la fragilidad con la que nos enfrentamos a los cambios climáticos y a las distintas manifestaciones del cambio global (Steffen et al., 2007). Las propias consecuencias del cambio climático provocan a su vez modificaciones y cambios en la dinámica de los ecosistemas con efectos evidentes sobre su capacidad de aportar servicios (Meehl et al., 2000; Milly, Dunne, & Vecchia, 2005). Si a esto se le añaden las prácticas inadecuadas de manejo, la rapidez de los cambios generados pone nuevamente a prueba la capacidad de resiliencia (recuperación) de la naturaleza humanizada (Running & Mills, 2009). El paradigma de “cambio global” incluye de forma más completa los distintos efectos y consecuencias generadas por la presión insostenible de los usos humanos, como la deforestación, pérdida de biodiversidad, urbanización acelerada en el planeta, entre muchas otras (Rockström et al., 2009). El cambio climático sería una parte de estos efectos complejos. Los informes de la evaluación

de servicios de los ecosistemas para el bienestar humano han permitido reconocer y documentar las modificaciones que sufren los ecosistemas a escalas regionales y nacionales y su repercusión sobre los servicios que prestan. A pesar de ello, habrá que asumir cambios que la población mundial tendrá que aceptar y adaptarse (US Climate Change Science Program, 2009). La humanidad dependerá de su capacidad de adaptación para tener condiciones de vida aceptables en el planeta.

Como respuesta a las gestiones internacionales para atender la problemática de los procesos de adaptación ante las consecuencias del cambio climático a escala local/regional, la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza ha desarrollado el concepto de Adaptación Basada en los Ecosistemas (EbA, por sus siglas en inglés). En este concepto se identifica e implementa una gama de estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas con objeto de asegurar que éstos continúen prestando los servicios que permiten a las personas adaptarse a los efectos del cambio climático (US Climate Change Science Program, 2009). En su carácter de estrategia para la adaptación y desarrollo, la EbA tiene como meta aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las sociedades ante el cambio climático, según se estipula en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (2009).

Las medidas de adaptación en el sector forestal incluyen esfuerzos, tanto para ayudar reducir los impactos del cambio climático sobre las personas, como para adaptar las prácticas de manejo de los bosques y reducir su vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático. En la mayoría de los países en desarrollo, incluyendo muchos de América Latina y el Caribe, las respuestas de las políticas forestales y de organización de los usos de suelos para la adaptación al cambio climático parecen ser aun relativamente limitadas. A nivel mundial se necesita un enfoque más sistemático de las necesidades y oportunidades para la adaptación en el sector forestal, como parte de políticas generales de bosques y procesos de planificación, lo que incluye programas forestales nacionales orientados a la adaptación al cambio climático (US Climate Change Science Program, 2009).

Entre los ejemplos de adaptación basada en los ecosistemas (EbA) están los siguientes:

- Manejo de ecosistemas costeros para reducir inundaciones durante marejadas. Los manglares, ciénagas salinas y otros tipos de vegetación costera proporcionan una infraestructura natural que reduce tierra adentro los impactos derivados de la energía del oleaje, actúan como una barrera para detritos y reduce la erosión costera.
- Manejo de tierras agrícolas con la utilización de conocimientos locales sobre cultivos específicos y usos ganaderos (especies, razas, manejo), aplicación de enfoques de gestión integrada de recursos hídricos, y

conservación del mosaico (diversidad) de paisajes agrícolas para asegurar el abastecimiento de alimentos en condiciones climáticas locales cambiantes y erráticas.

- Manejo de tierras altas y cuencas para asegurar que el almacenamiento de agua y los servicios de regulación de inundaciones sean maximizados a través del mantenimiento y mejora de los humedales y de los cauces fluviales y su vegetación.
- Mantener y mejorar la resistencia de los ecosistemas mediante sistemas eficientes de áreas naturales protegidas y mejoras en el manejo sostenible de paisajes antrópicos terrestres, costeros y marinos.

Estas acciones de prevención, mitigación y adaptación persiguen mantener una base de referencia (capital natural) para la sostenibilidad de los recursos (tanto naturales como asociados a la actividad humana). En conjunto pueden verse como las acciones de gestión básica para la supervivencia de las sociedades humanas.

Por otro lado, existen gestiones locales y regionales dirigidas por las entidades gubernamentales que intentan establecer acciones de mitigación de los eventos naturales que pueden tener efectos catastróficos y cuya frecuencia parece incrementar con el cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1995; McCarthy, Canziani, Leary, Dokken, & White, 2001; Milly et al., 2005; Emanuel, 2005; Anderson & Baucsh, 2006). La Ley de Mitigación de Desastres o DMA, por sus siglas en inglés (Disaster Mitigation Act, 2000) de los Estados Unidos, que aplica tanto a las regiones estadounidenses como a sus territorios, obliga a sus municipios (entre ellos a los de la isla de Puerto Rico) a llevar a cabo acciones de mitigación de riesgos naturales. En Puerto Rico, esta actuación se realiza a través de la elaboración de un Plan de Mitigación de Riesgos Naturales (PMRNM) donde se hace uso de una herramienta (mapas de peligros naturales) basada en un estudio llevado a cabo por la Universidad Metropolitana y financiado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés). El estudio titulado *Evaluación Integrada de Peligros Naturales para la Isla de Puerto Rico* (2002) evaluó la intensidad y frecuencia de eventos naturales, además de las condiciones geofísicas de la región mediante variables como precipitación, temperatura, pendientes, tipos de suelos, geología, elevaciones, entre otras.

En una fase posterior de este estudio sería recomendable incluir las visiones actuales de evaluación de los servicios de los ecosistemas y adaptación que hemos comentado, además de señalar los servicios relacionados con la mitigación de eventos naturales específicos. De esa manera se pueden proponer zonas de protección de ecosistemas clave para la mitigación de determinados peligros, como las inundaciones, erosión costera y derrumbes, entre otros (Hannah et al., 2007). También hay que estudiar a fondo la capacidad de respuesta de los ecosistemas ante

estos eventos (resiliencia), capacidad que puede ser afectada (mermada o reforzada) por los usos humanos. Los Planes de Mitigación de Riesgos Naturales generados por los municipios los hacen elegibles para recibir ayudas económicas en caso de desastres, pero también les permite acceder a fondos federales para atender sus respectivas acciones de mitigación y adaptación.

Con esta perspectiva resulta especialmente necesario identificar y cartografiar los ecosistemas que son cruciales para mitigar los diferentes riesgos por eventos naturales. De esta manera, el manejo efectivo y sostenible de los ecosistemas clave para afrontar los riesgos puede ser incluido como parte de las estrategias de mitigación. En consecuencia instituir métodos de evaluación del uso sostenible de los ecosistemas no sólo permite contar con indicadores de integridad o capacidad de respuesta frente a perturbaciones, sino que también impulsa la aplicación de buenas prácticas de desarrollo sostenible y puede tener un efecto generalizado sobre la toma de decisiones (Meadows, 1998).

Servicios de los ecosistemas: mitigación de desastres

En este apartado, el propósito principal es establecer un fundamento teórico que clarifique los criterios de selección de los servicios ecosistémicos que tienen mayor interés para la mitigación de riesgos naturales. Ello permitirá priorizar, en caso necesario, las estrategias de protección de los ecosistemas capaces de prestarlos. Es necesario definir, en primer lugar, varios de los términos que diferencian los enfoques actuales y las variables que pueden utilizarse para orientar el estudio de los servicios de los ecosistemas, un concepto que ha recibido distintas interpretaciones. Fisher y sus colaboradores (2007) llevaron a cabo un análisis de las definiciones que sirvieron de base para los estudios en esta temática. Fisher citó a Daily y colaboradores (1997) al referirse a los servicios de los ecosistemas como “condiciones y procesos, a la vez que funciones para el soporte de la vida actual”; Constanza et al. (1997) los identifican como “bienes y servicios derivados de las funciones de los ecosistemas y utilizados por la humanidad”, mientras que el MA (2005), dice que los “servicios son beneficios para las sociedades humanas y las personas”. Ciertamente los autores han discrepado en cuanto a la definición de los servicios, aunque coinciden en la visión antropocéntrica de los mismos. Boyd y Banzhaf (2007) ofrecieron una definición alterna, consideran a los servicios de los ecosistemas como “aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano”. De modo que solo son considerados como “servicios de los ecosistemas” aquellos componentes que son aprovechados como beneficio por la humanidad. Por lo cual, los servicios de los ecosistemas incluyen organización o estructura, pero también procesos y/o funciones si es que son utilizados directa o indirectamente por los seres humanos. Por ejemplo, para los residentes de un lugar donde los huracanes representan una amenaza para su bienestar, los ecosistemas que mitigan o amortiguan

el impacto mediante su estructura, organización, complejidad, se convierten en servicios. Diferente ocurre en una isla despoblada donde los huracanes pasan y no hay un servicio percibido por los humanos.

De este modo, los ecosistemas ofrecen beneficios de protección y/o mitigación ante peligros naturales, lo que permite preservar la vida, la propiedad pública y privada, el patrimonio cultural, minimizar la vulnerabilidad de los modos de vida, entre otras (Fisher et al., 2007). Según esta premisa, la conexión entre la sostenibilidad de los usos humanos como condición para que los ecosistemas puedan prestar servicios y considerarlos como beneficios para la comunidad es fundamental. La relación de los ecosistemas con los peligros naturales es una perspectiva especialmente importante para los territorios más afectados por riesgos naturales. La estimación de la integridad de los ecosistemas y la resiliencia como capacidad para amortiguar peligros naturales y recuperar las condiciones que permiten mitigar los riesgos por eventos naturales son considerados esenciales.

El MA considera los servicios de provisión, regulación y culturales brindados por los ecosistemas. Uno de los documentos derivados del MA, 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, presentó un análisis sobre la regulación de los peligros naturales a través de los servicios de los ecosistemas, enfatizando los que tienen que ver con fuegos e inundaciones. Ese documento indica que desde 1992 a 2001, las inundaciones fueron la principal causa de desastres (43% de 2,257 desastres) en el mundo, lo que causó la muerte de 96,507 personas y afectado a más de 1.2 millones de personas en esa década. Las interacciones de las actividades humanas modernas con los ecosistemas han contribuido a incrementar la vulnerabilidad para los humanos y el impacto de eventos extremos para el bienestar (MA, 2005: World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute, 2008). El documento citado también concluye que el manejo apropiado de los ecosistemas puede ser una herramienta importante para reducir la vulnerabilidad y contribuir a la reducción de impactos negativos de eventos extremos sobre las sociedades.

Mitigación de inundaciones

Sea cuál sea el grado de intensificación de los eventos de lluvias y huracanes, los ecosistemas podrán o no cumplir un rol esencial en el proceso de mitigación, dependiendo del nivel de alteración humana que contengan. La resiliencia (respuesta a perturbaciones) de un determinado ecosistema y su capacidad de suministrar servicios dependerá del estado (configuración) en que se encuentre, dependiente en general de la gestión humana (Gómez-Sal, Belmontes, Nicolau, 2003). Por ejemplo, cuando llueve, los suelos pueden retener agua y gradualmente la distribuyen a las plantas, acuíferos y arroyos. De modo que el propio suelo puede minimizar el avance del agua sobre el terreno en una inundación (Daily et al., 1997). La cobertura vegetal

y la materia orgánica superficial del suelo (hojarasca y otras) minimizan el impacto violento de la lluvia. Cuando no hay cobertura vegetal, usualmente, la lluvia compacta la superficie y convierte el suelo en lodo, el cual obstruye sus cavidades y reduce la infiltración, aumentando la escorrentía y sus efectos erosivos. Los componentes del suelo responsables de su estructura y fertilidad son transportados pendiente abajo por las inundaciones (Hillel, 1991).

La erosión es otra de las consecuencias de la deforestación debido a la desestabilización de los suelos, aumentando el efecto catastrófico de las inundaciones. El material es arrastrado acumulándose en sistemas acuáticos, naturales y embalses. La erosión incrementa la frecuencia y severidad de inundaciones, además de minimizar la capacidad de retención de agua y nutrientes en los suelos y su potencial de producción, así como otros daños que afectan directamente los costos para afrontar los deterioros (Pielke, 2000). También minimizan el potencial de las instalaciones hidroeléctricas al rellenar de material los embalses y minimizar su capacidad de almacenamiento de agua (Pimentel et al., 1995). Otras de las ventajas que tiene la cobertura vegetal para mitigar inundaciones es la evapotranspiración. La vegetación, en particular los árboles y arbustos con raíces profundas, retornan el agua de los suelos a la atmosfera a través de la transpiración de agua y la evaporación de esta, minimizando la saturación del terreno (Guoyi et al., 2008).

Los humedales son particularmente apreciados por su rol en el control de las inundaciones, éstos pueden reducir la necesidad de tener que construir estructuras para amortiguar el efecto de las crecidas (Ming, Xian, Lin-shu, Li-juan, & Shouzheng, 2007). Los bosques, vegetación de planicies de inundación y marismas pueden disminuir la intensidad energética del flujo de aguas en una crecida y permiten que los sedimentos puedan depositarse en las planicies en vez de llegar al océano (Daily et al., 1997). Los humedales de montaña pueden absorber más cantidad de agua y mitigar el efecto de inundación repentina durante lluvias prolongadas, retrasando la saturación de los suelos en terrenos altos y absorbiendo el flujo máximo sobre los terrenos. Manteniendo la integridad de los humedales, su vegetación, los suelos asociados a las llanuras aluviales y el régimen hídrico es posible reducir la severidad y duración de las inundaciones provocadas por los ríos (Ewel, 1997).

Mitigación de vientos fuertes (tormentas y huracanes)

La relación ante la fuerza y duración de los huracanes y su relación al incremento en las temperaturas del océano afectadas por el calentamiento global han sido documentadas por Emanuel (2005). El cambio climático está provocando una mayor intensidad en los ciclones generados en el Atlántico desde 1970, no solo en la frecuencia, sino que se ha doblado su poder de disipación, lo que resulta en un incremento del potencial de destrucción de los huracanes (Escobar, 1999).

La cobertura vegetal reduce la probabilidad de derrumbes erosión de los suelos, inundaciones y avalanchas (deslaves, deslizamientos de laderas). Los arrecifes de coral, las barreras insulares y los manglares mitigan también el daño de los huracanes en tormentas tropicales, marejadas y reducen la intensidad energética del fenómeno.

El manglar es uno de los ecosistemas más amenazados del mundo, ahora se conoce que los bosques de mangle también son defensa contra los tsunamis y pudieron haber salvado la vida a miles de personas en Asia. Desafortunadamente, durante décadas se han pasado por alto los beneficios que brindan estos bosques costeros. A pesar de que actualmente se conocen sus efectos y beneficios, la velocidad de desaparición de estas barreras costeras es tres veces mayor que la de las selvas tropicales (Pielke et al., 2003).

Relación entre sostenibilidad y los servicios ecosistémicos

Como hemos mencionado anteriormente, la intensidad del uso de los ecosistemas debe ser evaluada para determinar el impacto en su integridad y resiliencia. Esto a través de un estudio de la coherencia del uso de los recursos (tipo, cantidad y frecuencia de utilización), la planificación de las áreas de ocupación y los diferentes usos del suelo, entre otras. La integridad del ecosistema, puede ser evaluada a través de la integridad espacial (fragmentación y conectividad en una escala amplia en el paisaje) y funcional (procesos y funcionamiento de los ecosistemas presentes, escala más detallada) con elementos de coherencia ecológica y capacidad de los ecosistemas de sustentar usos (Gómez-Sal & Vélez, 2008).

Por la naturaleza de un análisis cuyos resultados se pretende que sean útiles para la evaluación de la sostenibilidad fuerte (ecológica o eco-social) es definitivamente necesaria la integración de los componentes sociales, económicos y culturales, aunque en este caso sean los servicios esencialmente de regulación (mitigación) los que estén recibiendo la mayor atención. El resultado de este análisis debe verse en contexto regional partiendo de una sectorización que tenga en cuenta las condiciones geofísicas como topografía, tipos de suelos, geología, precipitación, entre otras. Los resultados permitirán apreciar un panorama de la integridad, las funciones y procesos asociados a la estabilidad del ecosistema, a una escala territorial adecuada para la planificación de las actividades humanas.

Como resultado de considerar de forma conjunta aspectos de conectividad, madurez, integración espacial, factores bióticos y abióticos particulares de los ecosistemas, deberá elaborarse un diagnóstico de la capacidad de prestación de servicios relacionados con la mitigación de eventos naturales potencialmente catastróficos (Breshears & Allen, 2002; MA, 2005; Millar et al., 2007).

Una vez considerada esa capacidad de servicio de mitigación y/o protección por parte del ecosistema frente a eventos naturales, la respuesta y conclusión final

del diagnóstico debe ser puesta en práctica a través del monitoreo del ecosistemas frente al evento extremo (US Climate Change Science Program, 2009). Por ejemplo, si se evalúan independientemente los riesgos de inundación y huracanes, es posible que aquellos ecosistemas (por ejemplo, un manglar) que “mitigan” una inundación puedan afrontar con éxito la misma y beneficiar a los humanos. Sin embargo, si ese mismo ecosistema se asocia al servicio de absorción de energía frente a un huracán de alta categoría, el estrés aplicado al mismo por los vientos puede minimizar su tolerancia a los huracanes y hasta superar los umbrales de resiliencia provocando un colapso total de los servicios de regulación (Smith, de Groot, Perrot-Maître, & Bergkamp, 2006).

En realidad es como si se produjese una competencia o conflicto (*trade-off*) entre los posibles servicios de regulación. Estos conflictos han sido documentados ampliamente entre servicios de distintos tipos (ej. entre los servicios de abastecimiento y los de regulación) pero no entre los que pertenecen al mismo grupo (Gómez-Sal, 2003). Es por eso importante evaluar de forma independiente los servicios frente a diferentes tipos de eventos, seguido por la integración de los mismos antes de tomar decisiones sobre el manejo del ecosistema (Kareiva, Watts, McDonald, & Boucher, 2007). El objetivo es evaluar la capacidad de respuesta y recuperación de los ecosistemas que ofrecen los servicios de regulación relacionados con eventos naturales, su capacidad de afrontar el estrés provocado por los eventos extremos y determinar la calidad del servicio (Meyerson et al., 2005). Estas funciones están condicionadas por la coherencia de los usos de los suelos y la modificación de los ecosistemas por parte de los humanos.

El esquema conceptual que proponemos para la evaluación de los servicios de los ecosistemas como reguladores de efectos de inundaciones y huracanes (Figura 1).

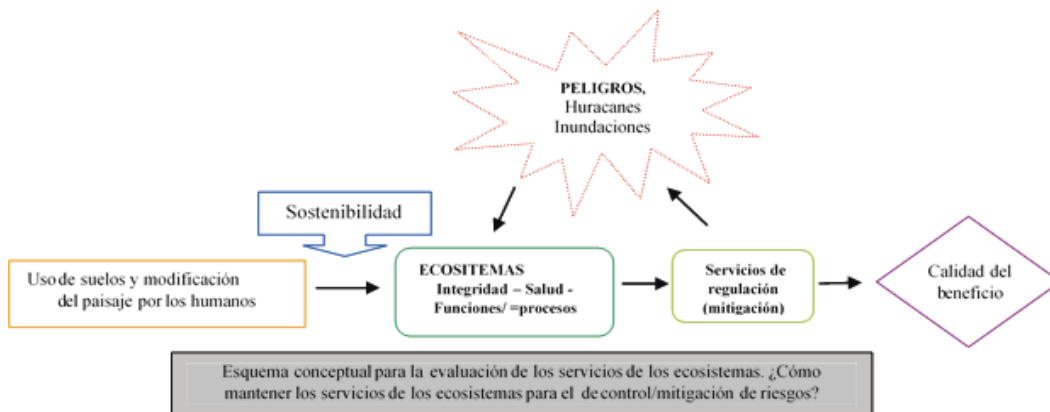


Figura 1. Esquema conceptual para la evaluación de cuencas hidrográficas en Puerto Rico en relación a su capacidad para afrontar eventos naturales y peligros potenciales.

El proceso de la evaluación lleva inherente la necesidad de establecer las relaciones adecuadas que permitan enlazar los efectos de los eventos naturales con los beneficios finales prestados por los ecosistemas. Un procedimiento adecuado para ello es identificar escenarios posibles de sostenibilidad y evaluar hasta qué punto la realidad de los usos de los suelos se acerca a las condiciones de un escenario deseable (Gómez-Sal et al., 2003; Gómez-Sal, 2013). Para esto, primero se define el alcance de la evaluación a través de una relación entre los eventos naturales (inundaciones y huracanes) y algunos ecosistemas que se asocian a los servicios de mitigación. A partir de esta relación se pone en marcha el proceso de adquisición de la información necesaria para la evaluación de la sostenibilidad ecológica (eco-social) deseable. La Tabla 1 presenta algunas de esas relaciones y también refiere el beneficio humano extraído de la gestión adecuada del servicio ecosistémico.

Tabla 1

Relaciones entre algunos de los servicios de los ecosistemas que proveen beneficios de regulación para mitigar impactos en riesgos naturales

Evento natural	Ecosistema	Servicio	Beneficio
Inundaciones (MA, 2005)	Planicies de inundación	Atenuación de inundaciones	
	Lago y reservas de agua	Almacenamiento de aguas y sedimentos	Mitigación de la extensión los daños por procesos naturales de inundaciones
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	
Huracanes o tormentas tropicales (United Nations Environment Programme 2008)	Playas y manglares	Frente de mitigación de vientos y marejadas. Atenuación de intensidad del oleaje	Maximización de la protección de la vida, propiedad privada y patrimonio cultural, entre otras, de las comunidades frente a eventos de vientos fuertes, lluvias y los peligros relacionados
	Bosques de laderas y de montañas	Retención de sedimentos, absorción de agua en suelos saturados, estabilidad del terreno	
	Humedales	Amortiguación de inundaciones	Mitigación de los efectos naturales en los modos de vida de los pescadores, agricultores y otros asociados al uso de los servicios de provisión de los ecosistemas
	Bosques costeros	Amortiguación de inundaciones	

Como síntesis, planteamos que para evaluar los servicios de los ecosistemas es necesario un estudio de su integridad ecológica y estimar su capacidad para amortiguar los riesgos naturales (uno de los servicios de regulación). La mitigación de riesgos debe considerar fuertemente el estado de los ecosistemas para la toma de decisiones en la planificación territorial y la adaptación al cambio climático. Para ello el enfoque de “adaptación basada en los ecosistemas” (EbA) nos parece adecuado y la presente propuesta pretende indicar fases de aplicación metodológica para desarrollar en la práctica. De esa manera, se pueden obtener elementos que refuercen la conservación de las funciones de los ecosistemas y establecer criterios y redes territoriales de conservación tanto por su valor como mitigadores ante el cambio climático como por su resiliencia ante los eventos naturales de impacto local con peligro de efectos catastróficos.

Literatura citada

- Anderson, J., & Bausch, C. (2006). *Climate change and natural disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change*. Policy brief of the EP Environment Committee, IP/A/ENVI/FWC/2005–35. Recuperado de http://www.europarl.eu.int/comparl/envi/pdf/externalexpertise/ieep_61eg/naturaldisasters.pdf.
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3), 616-626.
- Breshears, D. D., & Allen, C.D. (2002). The importance of rapid, disturbance-induced losses in carbon management and sequestration. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 11, 1–15.
- Constanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . van den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., . . . Woodwell, G. M. (1997, Spring). Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural. *Issues in Ecology*, 2. Recuperado de <http://www.esa.org/esa/wp-content/uploads/2013/03/issue2.pdf>
- Emanuel, K. A. (1987). The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483-485. doi:10.1038/326483a0
- Escobar, J. (1999). *Fenómenos climáticos y vulnerabilidad: La ecuación determinante de los desastres*. Comisión Económica para Latino América y el Caribe, 99-10-692.

- Ewel, K. (1997). Water quality improvement: Evaluation of an ecosystem service. In G. Daily (Ed). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (pp. 329-344). Washington, D.C.: Island Press.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., van Velthuisen, H., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 1083-1107. doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.
- Fisher, B., Turner, K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68 (3), 643-653. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.09.014
- Gómez Sal, A. (2013). Sostenibilidad ecológica y dimensiones evaluativas de la Agricultura. *Cuaderno Técnico Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Serie Agroecología y Ecología Agraria*. 73 pp.
- Gómez, Sal, A., Belmontes, J. A., & Nicolau, J. M. (2003). Assessing landscape values; a proposal for a multidimensional conceptual model. *Ecological Modelling*, 168: 319-341.
- Gómez-Sal, A. (2001). Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En J. Labrador & M.A. Altieri (eds.), *Agroecología y desarrollo* (pp.83-119). Mundi Prensa, 83-119.
- Gómez-Sal, A., & Vélez, R. L. A. (2008). Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala del paisaje, *Arbor*, 184(729), 31-44. doi:10.3989/arbor.2008.i729.159
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (1995). Segunda evaluación cambio climático e informe al 1995. PNUMA/OMM, 71pp.
- Guoyi, Z., Sun, G., Wang, X., Chuanyan, Z., McNulty, S. G., Vose, J. M., & Amatya, D. M. (2008). Estimating forest ecosystem evapotranspiration at multiple temporal scales with a dimension analysis Approach. *Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 208-221. doi: 10.1111/j.1752-1688.2007.
- Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martínez-Meyer, E., . . . Williams, P. (2007). Protected area needs in a changing climate. *Ecological Environment*, 5(3), 131-138.
- Hibbard, K. A., Crutzen, P. J., Lambin, E. F., Liverman, D., Mantua, N. J., McNeill, J. R., ... Steffen, W. (2006). Decadal interactions of humans and the environment. In R. Costanza, L. Graumlich, & W. Steffen (Eds.). *Integrated history and future of people on earth* (pp.341-375). Dahlem workshop report 96. Boston, MA: MIT Press.
- Hillel, D. (1991). *Out of the earth: Civilization and the life of the soil*. New York: The Free Press.

- Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R., & Boucher, T. (2007). Domesticated nature: Shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, 316:1866-1869.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *Climate change 2001: Impacts, adaptation & vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). United Kingdom: Cambridge University Press.
- Meadows, D. H. (1998). *Indicators and information systems for sustainable development*. A Report to the Balaton Group. The Sustainability Institute, Hartland Four Corners, VT, <http://sustainabilityinstitute.org/pubs/Indicators&Information.pdf>, accessed 06/07/07.
- Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke Jr, R., Changnon, D., ... & Zwiers, F. (2000). An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 413-416. doi:10.1175/1520-0477(2000)081<0413:AITTIE>2.3.CO;2
- Meyerson, L. A., Baron, J., Melillo, J., Naiman, R. J., O'Malley, R. I., Orians, G., ... Sala, O. E. (2005). Aggregate Measures of ecosystem services: can we take the pulse of nature? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 56-59. doi:10.1890/1540-9295(2005)003[0056:AMOESC]2.0.CO;2
- Millar, C. I., Stephenson, N. L., & Stephens, S. L. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17, 2145-2151.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. [PDF] Washington, DC: World Resources Institute. Recuperado de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in stream flow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(17), 347-350.
- Ming, J, Xian, L, Lin-shu X., Li-juan, C., & Shouzheng, T. (2007). Flood mitigation benefit of wetland soil - A case study in Momoge National Nature Reserve in China. *Ecological Economics*, 61(2-3), 217-223.
- Organization of American States. (2004). Managing natural hazard risk: Issues and challenges. *Policy Series*, 4. Recuperado de https://www.oas.org/dsd/policy_series/4_eng.pdf
- Pielke, Jr, R. A., Rubiera, J., Landsea, C., Fernández, M. L., & Klein, R. (2003). Hurricane vulnerability in Latin America and the Caribbean: Normalized damage and loss potentials. *Natural Hazards Review*, 4(3)101. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(101)

- Pielke, Jr., R. A. (2000). Floods impacts on society. In D.J. Paker (ed.) *Floods* (p. 136-155). London: Routledge.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., . . . Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(5201), 1117-1123. Recuperado de <http://www.jstor.org/>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., III, Lambin, E., . . . Foley. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(32). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Running, S. W., & Mills, L. S. (2009). *Terrestrial ecosystem adaptation. Climate policy program at resources for the future report*. Recuperado de <http://www.montana.edu/hansenlab/documents/labreadings2011/RunningMills2009.pdf>
- Smith, M., de Groot, D., Perrot-Maïte, D., & Bergkamp, G. (2006). Pay – Establishing payments for watershed services. Gland, Switzerland: IUCN. Reprint, Gland, Switzerland: IUCN, 2008. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2006-054.pdf>
- Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, Jr. (2007). The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of Nature? *Ambio. A Journal of the Human Environment*, 36, 614–621. doi:10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2
- United Nations Environment Programme. (2008). *UNEP 2008: Annual report*. ISBN: 978-92-807-2007-9. Recuperado de http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=4013
- United States Climate Change Science Program. (2009). *Thresholds of climate change in ecosystems. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research* [Fagre, D. B., C. W. Charles, C. D. Allen, C. Birkeland, F. S. Chapin III, P. M. Groffman, G.R. Guntenspergen, A.K. Knapp, A. D. McGuire, P. J. Mulholland, D.P.C. Peters, D. D. Roby, and George Sugihara]. U.S. Geological Survey, Reston, VA. Recuperado de http://www.sel.uaf.edu/manuscripts/bk18_Fagre-Thresholds-sap4-2-final-report-all.pdf
- URS & School of Environmental Affairs. (2002). *Integrated hazard assessment for the island of Puerto Rico*. Universidad Metropolitana. Agencia Federal de Emergencias Ambientales. Recuperado de http://www.suagm.edu/umet/pdf/ambientales/fema_pr_multyhazards_2002-lowres.pdf
- World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, & Meridian Institute. (2008). *The corporate ecosystem services review: Guidelines for identifying business risks & opportunities arising from ecosystem change*. Recuperado de http://pdf.wri.org/corporate_ecosystem_services_review.pdf