

Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica¹

Saada de Lima Abouhamad*
Marco Vinicio Rojas Ramírez**
Juan Luis Méndez Ramírez***
Karla Salazar Céspedes****
Ana Lorena Salmerón Alpizar *****

Recibido: 07-08-2016 Aceptado: 07-11-2016

RESUMEN

Se analizó los **servicios ecosistémicos de regulación** no consuntivos en contextos sociales que según la Iniciativa Global Economía de Ecosistemas y Biodiversidad proveen beneficios que dependen correlativamente de capacidades funcionales de los ecosistemas tales como: regulación de la calidad del aire y clima local, secuestro de carbono, moderación de eventos extremos, reciclado y tratamiento de aguas servidas, prevención de la erosión, polinización y control biológico. Se estableció la relación entre éstos y la restauración ecológica como estrategia para el mantenimiento del flujo de procesos y servicios ecosistémicos. Se presentan casos reales de restauración ecológica e iniciativas relacionadas con cada servicio ecosistémico de regulación expuesto. La metodología colaborativa consistió en un foro virtual de discusión en la primera fase y en la segunda, investigación grupal con énfasis en bibliografía especializada. Se concluye que los servicios ecológicos de regulación son factibles de mantenerse, mejorarse e incrementarse mediante la restauración ecológica como estrategia científica, política y social en beneficio de la seguridad hídrica, agroalimentaria, del control y mitigación de eventos climáticos adversos, la calidad del aire local y la salubridad en agrosistemas.

Palabras clave: Capital natural, Bienestar social, Estudio de caso, Proyecto.

ABSTRACT

This research inquiries about non-consumptive **regulating ecosystem services** (RES) that according to the Economics of Ecosystems and Biodiversity provides benefits within social contexts, and are correlatively dependent on ecosystems functional capacity such as: regulation of air quality and local climate, carbon storage, moderation of extreme events, recycling and wastewater treatment, prevention of erosion, pollination and biological control.

1. Este artículo fue escrito por estudiantes del curso Restauración Ecológica de la Cátedra de Gestión y Conservación de Recursos Naturales del Programa de Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica, impartido por el Profesor Oscar Chacón.

* Estudiante del Centro Universitario de Heredia, UNED, Costa Rica; saadita@gmail.com

** Estudiante del Centro Universitario de Puriscal, UNED, Costa Rica; marcov.rojasr@gmail.com

*** Estudiante del Centro Universitario de San Carlos, UNED, Costa Rica; juanlmr29@gmail.com

**** Estudiante del Centro Universitario de Acosta, UNED, Costa Rica; karvanesc@gmail.com

***** Estudiante del Centro Universitario de Alajuela, UNED, Costa Rica; alsalmeron@gmail.com

It is established the relationship between these and ecological restoration as a strategy to the maintenance of the processes and fluxes of ecosystem services. Actual cases and initiatives in ecological restoration are presented within each RES. The collaborative methodology comprised a virtual discussion forum in the initial phase, followed by a research group focused on specialized literature. It is concluded that regulating ecosystem services are in feasible to be maintained, improved and increased by ecological restoration as a scientific, political and social strategy, towards the benefit of water and agricultural security, mitigation and control of extreme climate events, air quality and agricultural systems health.

Key words: Ecosystem services, Natural capital, Ecological restoration, Social wellbeing, Regulation, Case study, Projects.

INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas someten a grandes presiones a los ecosistemas naturales, afectando tanto su estructura como su funcionalidad, provocando esto la limitación para ofrecer servicios ecosistémicos a la sociedad. Los servicios ecosistémicos comprenden, según la Iniciativa Global Economía de Ecosistemas y Biodiversidad (TEEB, por sus siglas en inglés) cuatro categorías generales de servicios a saber: i. de aprovisionamiento, ii. de hábitat y soporte, iii. culturales y iv. de regulación. Los primeros se tratan de consuntivos tales como alimentos, medicinas, materias primas y energía. El segundo componente es relativo al soporte vital para todas las especies. El tercero entra en un dominio espiritual, estético, cultural y recreativo del ser humano. La cuarta categoría, los **servicios ecosistémicos de regulación** son funciones no consuntivas que regulan procesos tales como calidad del aire, secuestro de carbono, moderación de eventos climáticos, descontaminación de aguas servidas, reciclaje de nutrientes, prevención de erosión, polinización y control biológico (TEEB, 2014). Estos servicios naturales son obtenidos sin pasar por procesos de transformación o manufactura (Camargo, Carreño y Barón, 2012). Debido a la elevada importancia de estos servicios naturales para el bienestar social, es determinante buscar los medios para su conservación y recuperación. Entre las soluciones se plantea la restauración ecológica (RE) actividad que según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (2004) se refiere a “una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad” (p. 2).

Numerosas investigaciones como las realizadas por Benayas y Meltzer (2014), Klein,

Steffan-Dewenter & Tschardt (2003), Whaley *et al.*, (2010) han demostrado que existen relaciones entre los servicios ecosistémicos de regulación coadyuvados por estrategias de restauración ecológica y que a su vez repercuten en el capital natural, lo que se traduce en flujos y oferta más estables de los bienes y servicios ecosistémicos dentro de un contexto social.

METODOLOGÍA

En la primera fase, una vez establecido este grupo colaborativo de seis personas con base en las orientaciones académicas así como las de plataforma webmoodle del curso, se realizaron las lecturas indicadas y se discutió el tema a desarrollar. Posteriormente, durante el Foro Colaborativo Virtual, ampliado a todos los participantes del curso, se realizaron tres participaciones respondientes a dos incógnitas planteadas por el profesor del curso y una en réplica a la intervención de un colega, siempre dentro del tema de restauración ecológica y los beneficios sociales del flujo de servicios ecosistémicos.

La segunda fase se centra en búsqueda de información de fuentes autoritativas sobre el tema en Internet, con base en siete criterios: regulación de la calidad del aire y clima local, secuestro de carbono, moderación de eventos extremos, reciclaje y tratamiento de aguas servidas, servicio ecológico de prevención de la erosión, servicio ecológico de polinización y servicio de control biológico. El análisis de la información se realizó con métodos descriptivo-explicativos para el servicio ecológico en sí, seguido del inductivo-deductivo en la correlación de cada criterio con iniciativas que sustentan la relación entre los servicios ecosistémicos de regulación, iniciativas de



restauración ecológica y los beneficios sociales, económicos o ecológicos derivados de su mantenimiento, para un total de 19 estudios de casos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire y clima local

La calidad del aire y la regulación del clima es un servicio ecosistémico ampliamente atribuido a las plantas y los árboles (TEEB, 2014). Investigaciones asocian a los organismos fotosintéticos como el enlace pivotal entre la regulación climática, el agua y el oxígeno de nuestro planeta. La cobertura vegetal afecta también la temperatura y humedad del suelo, el albedo, la nubosidad, la precipitación, la captura y liberación de gases de efecto invernadero. (Arellano y de las Rivas, 2006).

Son diversos los mecanismos por los cuales ocurren estos efectos: el **intercambio químico-gaseoso** del oxígeno-carbono que por vías del incremento de la biomasa vegetal absorbe y fija gases de efecto invernadero (Arellano y de las Rivas, 2006), aspecto desarrollado en el siguiente segmento. El **efecto físico** en el espectro lumínico, con la absorción y difusión de ondas infrarrojas asociadas al incremento de la temperatura (Meisel, Urbina y Pinto, 2011). El efecto **másico** sobre los elementos del paisaje, que modifican microclimas, desde la sombra que provee un único árbol aislado, pasando por la función de rompevientos en un sistema agroforestal, al amplio servicio ecosistémico de una región natural bajo algún régimen de administración especial. (Mendieta y Rocha, 2007).

La calidad del aire es también un tema de salud y derechos humanos, más allá de un servicio ecológico. Sociedades con mala calidad del aire son menos productivas y le cuestan más a la empresa y al Estado. *“En América Latina y el Caribe la contaminación del aire afecta gravemente a la salud de más de 80 millones de habitantes, causa anualmente la pérdida de alrededor de 65 millones de jornadas de trabajo, unos 2,3 millones de casos de insuficiencia respiratoria crónica en*

niños y más de 100.000 casos de bronquitis crónica en adultos” (Garay Salamanca et al., 2013).

- a.i Colombia es un caso-país que cuenta con un Plan Nacional de Restauración, Recuperación y Rehabilitación de Ecosistemas (PNRRRE) a un horizonte de aplicación del 2010 al 2030, que incluye estrategias también para impactar la calidad del aire y del clima. Ésta inicia con una revisión del marco normativo y legal en la materia, adicional al plan de acciones en el campo que involucra la aplicación de técnicas de recuperación, restauración, rehabilitación, entre otros, aunado a procesos de socialización del PNRRRE y participación de comunidades locales.
- a.ii Otro caso humano dramático es el proceso de desplazamiento de comunidades en el norte del Perú, por pérdida de funcionalidad en el suelo, agua, biodiversidad, paisaje y calidad del aire debido a proyectos mineros de cientos y miles de hectáreas (Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables, 2015). En Latinoamérica el sector *“ha cobrado una especial importancia debido al otorgamiento indiscriminado de títulos mineros y el consecuente desarrollo de actividades mineras; vulnerando derechos fundamentales y colectivos, desconociendo procesos locales...”* ...La única posible salida a esta crisis socioambiental, es la restauración del paisaje hacia la vocación agropecuaria (Garay Salamanca et al., 2011).
- a.iii En áreas afectadas por infraestructura urbana y de transporte, con miras a mejorar entre otros aspectos ambientales, el de la calidad del aire, la Secretaría de Ambiente de México, promulgó el Programa Ambiental de Rehabilitación y Reforestación de Áreas Verdes Urbanas. La estrategia promueve acciones concretas tales como la identificación de las principales fuentes contaminantes, inventarios de emisiones, así como *“la creación, recuperación, rehabilitación de predios, los cuales se encuentran mayormente en desuso y que cuentan con una extensión apta para la infraestructura*

que en ellas existe.” (Secretaría de Medio Ambiente, 2015)

b. Servicio ecosistémico de secuestro de carbono

Los ecosistemas regulan el clima global también, mediante el secuestro y almacenamiento de gases de efecto invernadero (GEI). A medida que las plantas crecen y se desarrollan, remueven el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera transformándolo en moléculas de azúcar y fibra reconstituyente de su biomasa. Así los bosques se convierten en sumideros de carbono (TEEB, 2014).

El secuestro de carbono es uno de los servicios ambientales más desarrollados en mecanismos de mercado.

b.i En 1996, Costa Rica mediante la promulgación de una nueva Ley Forestal, incluye dentro de las definiciones en el artículo 3, inciso k) el secuestro y fijación de carbono como un servicio ambiental susceptible de ser recompensado por el Estado. Desde entonces, la recuperación de la cobertura boscosa con fines de conservación de biodiversidad, recurso hídrico, belleza escénica y secuestro de carbono, es promovida y motivada por programas de pagos por servicios ambientales, para lo cual se creó el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Al corte de 2015, el inventario nacional del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), refleja una recuperación sobre 64% en cobertura forestal, representado por bosques maduros y secundarios, información base para el sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación para la Estrategia Nacional Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD), en el marco de compromisos internacionales sobre Cambio Climático (MINAE, 2015).

c. Servicio ecosistémico de moderación de eventos extremos

En la actualidad, la variabilidad climática producida por el calentamiento global, es una de las principales causas del aumento de eventos hidrometeorológicos extremos, que provocan

la alteración de regímenes y patrones de precipitación en cantidad, frecuencia e intensidad, ocasionando sequías, olas de calor, incendios forestales, huracanes, ciclones tropicales, inundaciones, escurrimientos superficiales y deslizamientos, aumento en la sedimentación en represas y embalses e incremento en magnitudes de la oscilación del Sur El Niño-La Niña, entre otros. (Fallas y Oviedo, 2003)

Cuando las alteraciones alcanzan una magnitud que excede la capacidad de respuesta de la sociedad se convierten en desastres, siendo la gestión del riesgo, la alternativa para implementar las acciones preventivas y de mitigación, dentro de las cuales la restauración ecológica se ha convertido en una de las soluciones cada vez más implementada. Por ejemplo, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), propone entre diversas medidas de mitigación, la restauración y reforestación (activa) y la regeneración forestal natural (pasiva), como sumideros de carbono y barreras de defensas (MINAET, 2009).

c.i Las cuencas hidrográficas suministran variedad de servicios ecosistémicos de importancia y beneficio para la sociedad, específicamente servicios de regulación hídrica, producción y calidad de agua (Smith, 2007). Con el fin de promover la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hídricos, se han formulado políticas y esfuerzos internacionales, nacionales y locales de gestión integrada del agua, con enfoque de cuenca, sustentados en los cuatro principios de la Declaratoria de Dublín, para promover procesos de restauración que permitan la inversión de recursos para la recuperación y protección de cuerpos de agua para el abastecimiento humano y el aprovechamiento en actividades productivas (Huerta y Jiménez, 2010)

Dentro de los servicios de moderación y regulación de fenómenos extremos que cumplen una función de control y reducción del riesgo se encuentra la siguiente subclasificación (Cuadro 1).

c.ii Por su parte, el Plan para recuperar los ríos y acuíferos del Valle Central reporta que 83% de las microcuencas del Río Virilla poseen

Cuadro 1

Servicios ecosistémicos de moderación y control de fenómenos extremos en una cuenca.

Servicio	Características
Regulación de caudales hídricos	Facilitan la infiltración del agua. Retienen y descargan agua (especialmente por bosques y humedales). Almacenan el agua en ríos, lagos, humedales y otros cuerpos de agua. Cargan y descargan aguas subterráneas, mantenimiento de caudales base.
Mitigación de riesgos	Amortiguan y aminoran picos en inundaciones y daños por tormentas. Protegen la costa de tormentas, huracanes y otros. Estabilizan pendientes y disminuyen derrumbes y taludes.
Control de erosión y sedimentación	Protegen los suelos por vegetación, biota de suelos y fertilidad (humus). Disminuyen los depósitos de sedimentos en cuerpos fluviales y lagos.
Purificación de agua	Absorben y descargan nutrientes de los ecosistemas. Procesan la materia orgánica en descomposición, sales y contaminantes.

Fuente: elaboración propia con base en Smith (2007).

sus nacientes en laderas improductivas y subutilizadas, por lo que propone reforestar las partes medias y altas de las cuencas, para su restauración pasiva y promover beneficios al Gran Área Metropolitana (GAM) tales como aumento de caudales, disponibilidad de agua, disminución de inundaciones y sus impactos negativos, recolonización de especies propias y recuperación del volumen de los acuíferos (Esquivel, 2012).

- c.iii Por último, el caso exitoso de restauración en el Parque Nacional Guanacaste, dirigido por el Dr. Daniel Janzen, es reconocido a nivel mundial como un proyecto ambicioso, por la meta de eliminación de pastos exóticos dañinos y el ganado durante los próximos 100-300 años, para la recuperación del bosque tropical seco propio de la zona y su biodiversidad. Janzen denomina el proceso como restauración biocultural por el involucramiento de cerca de 40.000 pobladores aledaños. Entre las técnicas, se han reintroducido especies pioneras, fundadoras y árboles jóvenes en zonas taladas, acelerando la sucesión ecológica secundaria, lo que ha ayudado a prevenir y regular los incendios forestales. (Miller & Hobbs, 2007)

d. Servicio ecosistémico de reciclaje y tratamiento de aguas servidas

Dentro del conjunto de servicios ecosistémicos de regulación se encuentra el tratamiento de aguas

residuales. Por ejemplo, los humedales tienen la capacidad de absorber y filtrar efluentes, descomponer residuos y eliminar patógenos ocasionados por diferentes formas de contaminación en cuerpos de agua de origen antropogénico como la actividad agrícola, ganadera e industrial (FAO, 2016; GIZ, 2012; TEEB 2010).

- d.i Emerton, Iyango, Luwum & Maligna (1998) presentan el caso del humedal Nakivubo en Uganda, donde se cuantificó los servicios y valores económicos asociados a los productos que genera el humedal e incorporaron aspectos como el uso de recipientes para depositar residuos, metales pesados, el tratamiento y purificación de efluentes, la calidad del agua y la generación de ingresos a pequeña escala. Los principales beneficiados de los servicios generados por el sitio fueron los habitantes de zonas adyacentes, la industria y la empresa paraestatal de agua y alcantarillados. Existe un conjunto de recursos que son ahorrados en tratamiento de aguas gracias a los servicios prestados por el sitio, sin embargo, los efectos negativos generados por las diferentes actividades están subvalorados.
- d.ii Emerton & Kekandula (2003) estudian el caso del humedal Mathurajawela Marsh en Sri Lanka; este sitio está bajo una categoría de protección, sin embargo se encuentra afectado por fuertes presiones de desarrollo



urbano, industria y agricultura en sus alrededores. Las decisiones en cambio de uso del suelo buscan beneficios económicos al corto plazo, sin valoraciones ecosistémicas. El objetivo del estudio fue medir los beneficios económicos de la conservación versus costos de degradación. El valor directo asciende a unos 726.5 millones de dólares al año, de este total 485.51, corresponden a atenuación de inundaciones y 162.31 corresponden a tratamiento de las aguas residuales de la industria (en conjunto 90% del total). Los restantes 78.68 se dividen entre tareas como agricultura, pesca, leña descanso, tratamiento de aguas domésticas, suministro de agua y secuestro de carbono. Los beneficiados se acercan a los 31.700 habitantes y a cerca de 100 empresas.

- d.iii En relación al caso del pantano That Luang Vientiane en Laos, la investigación busca desarrollar y aplicar técnicas y medidas vinculadas a la economía ambiental para la gestión de cuencas (Gerrard, 2004). La zona genera servicios con un valor económico, a saber pesca, agricultura, recolección de recursos naturales, retención de inundaciones, calidad del agua, tratamiento de residuos domésticos, agrícolas, urbanos e industriales. Buena parte del sitio ha pasado a dedicarse al cultivo de arroz. Los asentamientos en la zona de impacto y potenciales beneficiados corresponden a 17 pueblos, 7319 hogares y 37 914 personas. El conjunto de impactos sobre estas zonas manifiestan de manera clara la necesidad de llevar adelante procesos de restauración ecológica y control que garanticen la permanencia de estos ecosistemas de manera funcional, con sus consecuentes servicios para el bienestar de sus pobladores.

e. **Servicio ecosistémico de prevención de la erosión**

Los suelos del planeta son esenciales para el mantenimiento de la biosfera, así como para la regulación del clima. Desde el punto de vista ecológico, el suelo sirve de sustrato a organismos de base primaria del ecosistema, filtra, regula y transforma la materia que absorbe y el agua, aporta importantes funciones de sustento

para la productividad agrícola, pecuaria y el almacenamiento de carbono. Está compuesto en más de un 90% de materia mineral y el resto es materia orgánica, siendo en su mayoría hongos, algas, bacterias y actinobacterias, que realizan importantes funciones como renovar la reserva de nutrientes del suelo, es decir, conservar su fertilidad (AEMA, 2002).

El suelo es un factor clave en procesos de degradación y desertificación, cuya principal causa es la erosión, que consiste en la pérdida de la capa externa de la litosfera que se traslada fuera del sistema. Factores abióticos como el viento y el agua pueden producir este fenómeno, así como las actividades antropogénicas, entre éstas destacan las malas prácticas agrícolas como la mecanización excesiva, la agricultura, la no rotación de cultivos, el pastoreo abusivo y el uso de agroquímicos (Seoáenz *et al.*, 1999).

Por su parte Vargas (2012) recomienda las siguientes técnicas para la recuperación de suelos degradados: remoción de la vegetación epigea e hipogeas, aplicación de enmiendas para mejorar las condiciones del suelo, descompactación mecánica, trasplante de suelo de zonas sin disturbio en bloques o desmoronado, combinación de acciones entre remoción de la vegetación superficial, adición de enmiendas y siembra de especies, dar periodos de descanso entre cultivos sobre 5 años, empleo de endomicorrizas, entre otras para restaurar la fertilidad y adaptarlo a condiciones particulares del lugar desde el inicio de la restauración.

- e.i En Ciudad Bolívar, Colombia, una zona de riesgo no mitigable por fenómenos de remoción en masa (deslizamientos) provocó la reubicación de la población. Entre otras acciones, se procedió mediante matrices, a identificar y evaluar los impactos ambientales que afectaron la zona piloto. Por medio de la reforestación se generó una cascada de transiciones hasta la recuperación de la estabilidad, la estructura y función del área afectada (Sánchez *et al.*, 2005).
- e.ii El Proyecto Restauración y Conservación de Suelos como Medida Compensatoria por la Construcción de la Central de Combustión Interna, en Baja California Sur, México, ha

trabajado de forma permanente, llevando a cabo acciones tendientes a prevenir, reducir y compensar los impactos ambientales en el desarrollo de proyectos, mediante la realización de actividades de restauración, conservación y aprovechamiento sostenible del suelo, a fin de disminuir su pérdida por erosión hídrica y eólica, para compensar las áreas afectadas por el cambio de uso de suelo en el desarrollo del proyecto (Comisión Federal de Electricidad, 2012).

e.iii De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CNF), otro caso con muy buenos resultados, se registra en la comunidad indígena de Cherán, Michuacán, México, sitio en el que se ha reportado la pérdida de suelos hasta en 90% en una superficie de 2965 hectáreas, debido a la tala ilegal y los incendios forestales. Se ha implementado un proceso de restauración de suelos mediante la aplicación de técnicas de recuperación de la cobertura forestal, con cercado de áreas de restauración, obras de suelos, zanjas trinchera, presas de troncos, ramas y acomodo de material vegetal muerto, además del proceso de reforestación (CNF, 2010).

f. Servicio ecosistémico de polinización

La polinización es considerada por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), como un servicio ecosistémico vital para la producción de alimentos y los medios de vida de los seres humanos, relacionando los ecosistemas silvestres con los de producción agrícola (FAO, 2014). Consiste en la transferencia de polen (células sexuales) desde los estambres (parte masculina de la flor) hasta el estigma (parte femenina de la flor), proceso gracias al cual ocurre la fecundación que resulta en frutos y semillas. Si bien la polinización puede ser llevada a cabo por vectores bióticos como abióticos, 80% de todas las angiospermas del mundo están especializadas para ser polinizadas por insectos, aves y mamíferos (*ibidem*, 2014).

f.i En una investigación realizada por Klein, Steffan-Dewenter & Tschardtke (2003), se demuestra que la polinización de los cultivos depende de la gestión agrícola local y la

calidad de los hábitats adyacentes. En este estudio se analizó la relación entre abejas polinizadoras de *Coffea canephora* en 15 sistemas agroforestales de café, monitoreando distancia de bosques, intensidad de luz y otras variables. De acuerdo con los resultados, la cercanía con bosques es determinante en los rendimientos totales y la producción de mejores frutos. Se deben preservar fragmentos forestales dispersos en un rango de 500 m de los campos y promover la conectividad biológica a nivel de paisaje para favorecer los servicios ecológicos de polinización en sistemas agrícolas y forestales.

f.ii En otro estudio en Costa Rica, Solís (2014) demostró que existe una correlación directa entre conectividad y el mantenimiento de comunidades de abejas que polinizan las flores del café variedades *Caturra* y *Catuái*. Entre sus principales resultados se comprobó que la polinización del café mediada por abejas permite una mayor producción de frutos en comparación con la autopolinización o polinización en la que no influyen las abejas. Concluye que la presencia del bosque cerca de cafetales es importante, ya que permite que haya una mayor abundancia de abejas lo que al final puede incidir en una mejor polinización y rendimiento del cultivo del café.

f.iii La desaparición de los polinizadores es motivo de emergencia agraria. En este sentido, el Gobierno de los Estados Unidos (2015) publica la Estrategia Nacional para el rescate de abejas y otros polinizadores. Entre los objetivos generales de esta propuesta están restaurar 7 millones de acres (2.832.799.496 hectáreas) de tierras en los próximos 5 años, a través de acciones federales y asociaciones públicas y privadas, para reducir la mortandad de abejas melíferas en 50% a diez años y aumentar la población de la mariposa monarca a 225 millones de ejemplares, en zonas de hibernación en México, para el año 2020.

g. Servicio ecosistémico de control biológico

El control biológico en sí es un proceso natural que forma parte de la red trófica de los ecosistemas. Según Nicholls (2008), el origen del aprovechamiento de este fenómeno natural está en la práctica de los antiguos agricultores chinos, cuando observaron que las hormigas eran depredadores efectivos de muchas plagas de los cítricos, razón por la cual aumentaban sus poblaciones colectando nidos de hormigas depredadoras en hábitats naturales cercanos y los colocaban en sus huertos, con el propósito de controlar las plagas del follaje. El control biológico aplicado consiste entonces en la utilización de organismos vivos (parasitoides, depredadores o patógenos) para reducir y mantener la abundancia poblacional de una especie (animales o plantas) por debajo de los niveles de daño económico.

Una plaga es cualquier organismo (insectos, herbívoros, roedores, hongos, caracoles, nematodos y virus) que produce un daño o reduce la disponibilidad y la calidad de un recurso humano. Actualmente las plagas destruyen entre 25% y 50% de la cosecha mundial de cultivos, tanto antes como después de recolectas y numerosas malezas compiten directamente con los cultivos por agua, luz y nutrientes del suelo, limitando aún más los rendimientos. La disminución de ecosistemas reemplazados por usos agrícolas, los pesticidas químicos y las estrategias para combatir las plagas a nivel mundial tienen consecuencias dañinas indeseadas ya bien conocidas (Nicholls, 2008).

g.i Un estudio de Tscharrntke *et al.*, (2007) analiza la conservación del control biológico y la diversidad de los enemigos naturales (insectos) a escala de paisaje, porque la mayoría de las especies de artrópodos experimentan su hábitat en dimensiones espaciales superior al nivel de parcelas (tierras cultivadas). La distancia entre la cosecha y el hábitat natural es importante para la conservación de la diversidad de especies para el control de otras. Este caso de estudio demuestra la necesidad y la importancia de restaurar ecológicamente a nivel de paisaje, zonas degradadas para garantizar ecosistemas que proporcionen este servicio ecosistémico a mediano y largo plazo y que

a su vez, sirvan de refugio para la diversidad de especies que participan en controlar la sobrepoblaciones de otros géneros que se comportan como plagas.

g.ii El proyecto realizado por Benayas & Meltzer (2014) sobre control aviar de plagas agrícolas mediante restauración ecológica, ilustra claramente el papel de la restauración ecológica en el control biológico. El fin del proyecto fue demostrar que el aumento de las poblaciones de aves, reducía las plagas agrícolas causadas por invertebrados. Se trabajó en cinco fincas de diferentes tamaños (2, 5,62, 80, 203 hectáreas), la restauración incluyó forestación con árboles nativos, aumento de biodiversidad, zonas de agua y refugio natural y artificial para facilitar la nidificación y aumentar la abundancia de las aves insectívoras, todo lo cual contribuyó en la regulación de plagas en los cultivos.

g.iii El caso de especies vegetales autóctonas para restaurar y aprovechar de modo sostenible los bosques secos del sur del Perú, ilustra la aplicación de técnicas de restauración de base rural (con la participación activa de las autoridades políticas locales) para la rehabilitación de hábitats naturales ribereños secos. Entre sus resultados se presentan mejoras en porcentajes de supervivencia de árboles nativos cultivados y a la vez, registra el incremento significativo del biocontrol de aves depredadoras sobre plagas de insectos, gracias al aumento de vegetación (Whaley *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

a. Sobre el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire y clima local

La contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación y concentración de contaminantes en el aire, en estados sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el ambiente y la salud humana. La restauración a distintas escalas y fines, bien sea en áreas urbanas con la recuperación de espacios baldíos y áreas verdes, como



a nivel de paisaje influye en el servicio ecológico que regula la calidad del aire y clima local.

La inclusión de planes nacionales de restauración ecológica dentro de estrategias de desarrollo es la vía política que dirige al país hacia el cumplimiento de compromisos internacionales en metas de calidad del aire y del clima.

b. Sobre el servicio ecosistémico de secuestro de carbono

El secuestro de carbono es uno de los servicios ambientales más desarrollados en mecanismos de mercado a nivel internacional, relacionados con la capacidad de los organismos fotosintéticos de remover GEI de la atmósfera y fijarlo en sus fibras.

Costa Rica ha promovido, desde 1996, mediante la reforma a la Ley Forestal, la compensación económica de los servicios ambientales, entre éstos el de secuestro de carbono, enfocado a la recuperación de la cobertura forestal de bosques maduros y secundarios. Estas estrategias coadyuvan en compromisos internacionales de Cambio Climático suscritos.

c. Sobre el servicio ecosistémico de moderación de eventos extremos

La restauración ecológica y los servicios ecosistémicos contribuyen a la moderación de eventos extremos, a enfrentar efectos adversos provenientes de la naturaleza y de las actividades antropológicas manejadas insosteniblemente, lo que redundará en una mayor estabilidad y seguridad ambiental de las que todos los seres vivos dependen para su existencia.

Existen experiencias en restauración de cuencas hidrográficas en el GAM de Costa Rica que responden a medidas para mitigar la intensidad y frecuencia de eventos hidrometeorológicos.

La restauración biocultural utilizada en el Área de Conservación Guanacaste es un método que involucra el subsistema social dentro de la gestión de reconstrucción del paisaje natural e igualmente repercute en la moderación de eventos locales tales como los incendios forestales.

d. Sobre el servicio ecosistémico de reciclaje y tratamiento de aguas servidas

Se concluye que, si bien el aspecto de la valoración económica representa un insumo significativo para la toma de decisiones en humedales como los presentados, la dinámica financiera con sus niveles de retorno inorgánicos dificulta la visibilidad de los impactos reales de la degradación ambiental.

Resulta claro que, para garantizar la sostenibilidad de estos espacios naturales hay que diversificar los criterios en la toma de decisiones, se debe contar con herramientas de cuantificación económica vinculadas a criterios e indicadores de carácter social y ecológico, tanto en su ganancia como en su pérdida por degradación.

Es necesario, utilizar estos mecanismos de cuantificación como un insumo para el establecimiento de tasas o multas a los agentes económicos y sociales contaminadores, que representen de manera acertada los niveles de impacto sobre los ecosistemas y los servicios que éstos brindan al bienestar humano.

e. Sobre el servicio ecosistémico de prevención de la erosión

Las prioridades de restauración se establecen tomando en consideración el nivel de afectación de los suelos, de manera que aquellas áreas con mayor condición de deterioro son calificadas como de mayor prioridad para la restauración. Del mismo modo, las prioridades más bajas de restauración se presentan en aquellas áreas que muestran mejores condiciones de conservación y mejor calidad de sus suelos.

Iniciativas de restauración y estabilización de suelos en áreas pobladas repercuten en la seguridad social de sus habitantes, disminuyendo la frecuencia de reubicaciones por afectaciones de esta índole.

Los proyectos de desarrollo y reforestación tales como los presentados comprenden exitosas experiencias por parte de empresas y organismos estatales, los cuales pueden ser adaptados a otras zonas con problemas similares.

f. Sobre el servicio ecosistémico de polinización

A partir de los dos casos presentados, se evidencia la importancia de los polinizadores en la producción del café y en este contexto, la presencia o ausencia de bosques juega un rol vital.

La restauración ecológica es un medio que propicia refugios naturales para los polinizadores que a su vez garantizarán la polinización a futuro y su repercusión en la producción de alimentos.

El caso presentado por el Gobierno de los EE.UU (2015), demuestra que la relación entre la restauración ecológica, la conservación y biodiversidad es cada día más evidente, estrecha y necesaria para mantener la polinización como un servicio ecosistémico, aunado a la seguridad alimentaria mundial.

g. Sobre el servicio ecosistémico de control biológico

Del estudio presentado se concluye que los paisajes estructuralmente complejos (bosques, agroecosistemas y jardines) con alta conectividad del hábitat y alta diversidad, donde la heterogeneidad a escalas espaciales es alta, coadyuvan en procesos de control biológico de plagas. Por el contrario, altos porcentajes de hábitats fragmentados se asocian con una baja densidad de especies y altas tasas de extinción local de controladores biológicos.

El segundo estudio presentado, evidencia los efectos positivos no solo del control biológico, eficiente para la regulación de plagas por aves, sino que además, se registró en las fincas un total de 53 especies de aves, seis de ellas insectívoras, dos especies de sapos con capacidad reproductiva y al menos 16 especies de odonatos (libélulas) que potencialmente pueden colonizar las charcas, así como 107 especies de hierbas en un seto plantado, 15 de ellas perennes (Benayas & Meltzer, 2014).

Proyectos de restauración ecológica cuyos objetivos se plantean en otros ámbitos, terminan por aportar paralelamente a las dinámicas de control biológico natural, mediante la conservación o reaparición de algunos organismos involucrados; este es el caso del uso de especies vegetales autóctonas para restaurar y aprovechar, de modo

sostenible, los bosques secos del sur del Perú, donde entre sus resultados se presentan porcentajes altos de supervivencia de los árboles nativos cultivados, pero también se registra el incremento de manera significativa del biocontrol de plagas de insectos gracias a aves depredadoras y el aumento en diversidad, riqueza y abundancia vegetal. (Whaley *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES GENERALES

Mediante el análisis de cada uno de los servicios ecológicos de regulación presentados por separado y el conocimiento de algunos casos ilustrativos relacionados, se puede reafirmar la conexión de todos éstos con la restauración ecológica como estrategia científica, política y social, para su mantenimiento, mejora e incremento, en beneficio de la seguridad hídrica, agroalimentaria, del control y mitigación de eventos climáticos adversos, la calidad del aire local y la salubridad en agrosistemas.

La restauración ecológica es reconocida a nivel global como un proceso esencial para restablecer la capacidad de los ecosistemas de soportar las demandas socioeconómicas, usar y manejar los recursos naturales de manera sostenible, mitigar los efectos del calentamiento global y conservar e incrementar el capital natural (Choi, 2004; Aronson *et al.*, 2006 y Hobbs, 2007).

REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente, AEMA. (2002). Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa Un desafío del siglo XXI Recuperado de: [//www.eea.europa.eu/es/publications/Environmental_issue_series_16/download](http://www.eea.europa.eu/es/publications/Environmental_issue_series_16/download)
- Arellano, J. B. y J. De Las Rivas. (2006). Plantas y Cambio Climático. *Revista Investigación y Ciencia*, Marzo 2006. Recuperado de: <http://www.investigacionyciencia.es/files/4836.pdf>
- Aronson J., J. N. Blignaut, S. J. Milton, D. Le Maitre, K. J. Esler, A. Limouzin, C. Fontaine, M. P. de Wit, W. Mugido, P. Prinsloo, L. van der Elst & N. Lederer. (2010). Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (2000- 2008). *Restoration Ecology*, 18 (2): 143-154. Recuperado de http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/aronson_socioeconomic.pdf

- Benayas, M. y Meltzer, J. (2014). *Control aviar de plagas de invertebrados en cultivos leñosos mediante restauración ecológica estratégica*. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, Madrid. Recuperado de: http://www.fundacion-fire.org/images/pdf/informe_control_aviar_de_plagas_md_final.pdf
- Camargo, E., Carreño, J., y Barón, E. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: Tendencias e impacto en el bienestar humano. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado de [www.LosServiciosEcosistemicosDeRegulacion-4227147%20\(2\).pdf](http://www.LosServiciosEcosistemicosDeRegulacion-4227147%20(2).pdf)
- Choi, Y. D. (2004). Theories for ecological restoration in changing environment: toward "futuristic" restoration. *Ecological Research*, 19: 75-81.
- Comisión Federal de Electricidad. (2012). Restauración y Conservación de Suelos como Medida Compensatoria por la Construcción de la Central de Combustión Interna Baja California Sur. Subdirección de Construcción. Coordinación de Proyectos Termoelectrónicos. Gerencia de Construcción. Residencia General de Construcción II. Residencia de obra CCI BCS I. Recuperado de: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/SiteAssets/Paginas/Suelo/RestauracionSuelosBCS.pdf
- Comisión Nacional Forestal. (2010). Restauración forestal en la comunidad indígena de Cherán. Programa forestal federal meseta purépecha. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/4587Comunidad%20Ind-C3%ADgena%20de%20Cher%C3%A1n.pdf>
- Esquivel, C. (2012). Un plan para recuperar los ríos y acuíferos del Valle Central. *Revista Geográfica de América Central*, 125-131. Recuperado de: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1711>
- Emerton, L. & Kekulandala, L. (2003). Assessment of the Economic Value of Muthurajawela Wetland. Occ. Pap. IUCN, Sri Lanka., 4:iv + 28 pp. Recuperado de: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2003-005.pdf>
- Emerton, L., L. Iyango, P. Luwum & A. Malinga. (1998). The Present Economic Value of Nakivubo Urban Wetland, Uganda. IUCN. The World Conservation Union, Eastern Africa Regional Office, Nairobi and National Wetlands Programme, Wetlands Inspectorate Division, Ministry of Water, Land and Environment, Kampala. Recuperado de: <https://portals.iucn.org/library/efiles/edocs/1999-047.pdf>
- FAO. (2016). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Servicios de regulación. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>
- FAO. (2014). Principios y Avances sobre Polinización como Servicio ambiental para la Agricultura Sostenible en Países de Latinoamérica y el Caribe. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3547s.pdf>
- Fallas, J. C. y Oviedo, R. (2003). Cap. III: Temporales. En Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana (Oviedo R, Fallas JC, Ed.), Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica, pp. 38. Recuperado de: <http://www.scielo.sa.cr/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S0034-7744201200060001200010&pid=S0034-77442012000600012&lng=es>
- Garay Salamanca, L. J., M. Cabrera Leal, J. E. Espitia Zamora, J. Fierro Morales, R. E. Negrete Montes, L. A. Pardo Becerra, G. Rudas Lleras y F. Vargas Valencia. (2013). Minería en Colombia: Fundamentos para superar el modelo extractivista. Contraloría General de la República de Colombia. Bogotá, Colombia. 209 p. Recuperado de: http://lasillavacia.com/sites/default/files/mineropedia/mineria_en_colombia.pdf
- Gerrard, P. (2004). Integrating Wetland Ecosystem Values into Urban Planning: The Case of That Luang Marsh, Vientiane, Lao PDR. Recuperado de: http://www.mekongwetlands.org/Common/download/WANI_economics_ThatLuang%20Marsh.pdf
- GIZ. (2012). Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo. Un enfoque sistemático en pasos para profesionales basado en TEEB. Recuperado de: <https://www.giz.de/expertise/downloads/giz2012-es-servicios-ecosistemicos.pdf>
- Gobierno de los Estados Unidos. (2015). Presidential Memorandum Creating a Federal Strategy to Promote the Health of Honey Bees and Other Pollinators. Recuperado de: <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/06/20/presidential-memorandum-creating-federal-strategy-promote-health-honey-b>
- Hobbs, R. J. (2007). Setting Effective and Realistic Restoration Goals: Key Directions for research. *Restoration Ecology*, 15(2): 354-357.

- Huerta, G y F. Jiménez. (2010). Una guía de diagnóstico rápido para determinar el potencial de pago por servicios ecosistémicos hídricos en microcuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 40(2): 34-43. Recuperado de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/7665/0>
- Klein, A., Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. (2003). Pollination of *Coffea canephora* in Relation to Local and Regional Agroforestry Management. *Journal of Applied Ecology*, 40: 837-845. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2664.2003.00847.x/full>
- Meisel, L., Urbina, D., y M. Pinto. (2011). Fotorreceptores y respuestas de plantas a señales luminicas. Fisiología vegetal. F. A Squeo y L. Cardemil (eds), Ediciones Universidad de La Serena, Chile. Cap. 18, 1-10. Recuperado de: http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2018.pdf
- Mendieta López, M. y L. R. Rocha Molina. (2007). Sistemas Agroforestales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 115 p. Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2443#sthash.LLtlJbXl.dpuf>
- Miller, J. R. & Hobbs, R. J. (2007). Habitat restoration - do we know what we're doing? *Restoration Ecology* 15: 382-390. Recuperado de: <http://www.wec.ufl.edu/faculty/giulianob/private/wis4427/Miller%20and%20hobbs.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). Comunicado de Prensa. Resultados del Inventario Nacional Forestal de Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. Secretaría Ejecutiva. Oficina de Prensa y Comunicación. Recuperado de: <http://www.sinac.go.cr/noticias/Comunicados%20PrensaSINAC/Comunicado%20de%20prensa%20%20Presentan%20resultados%20del%20Inventario%20Nacional%20Forestal%20de%20Costa%20Rica.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). Dirección de Cambio Climático, DCC. Hacia un Desarrollo Bajo en Emisiones y Resiliente al Cambio Climático. Recuperado de: www.cambio-climaticocr.com
- _____. MINAET. (2009). Estrategia Nacional de Cambio Climático. San José, Costa Rica: Calderón y Alvarado, S. A. Recuperado de: http://www.cambioclimaticocr.com/biblioteca-virtual/cat_view/2-publicaciones-sobre-cambio-climatico
- Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (2015). Desplazamientos Internos en el Perú. Recuperado de: http://www.oimperu.org/sitehome/sites/default/files/Documentos/Desplazamientos_Internos.pdf
- Nicholls Estrada, C. I. (2008). Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Medellín : Editorial Universidad de Antioquia. 282 p.
- Sánchez, O., Peters, E., Márquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (2005), Temas sobre restauración ecológica. 256 p. Recuperado de: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/pea-ar-2005-002.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente. (2015). Rehabilitación y reforestación de áreas verdes urbanas. México. Recuperado de: http://sma.edomex.gob.mx/rehabilitacion_reforestacion_areas_verdes_urbanas
- Seoáenz, M., C. Souchon y J. P. Delague. (1999). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil. Recuperado de: https://books.google.co.cr/books?id=-kZCpFv-W1EC&pg=PA53&lpg=PA53&dq=Seoáenz,+Souchon+Delage+degradacion+fisica+del+suelo&source=bl&ots=Ldb1XYH0Tg&sig=JgKtp0kkvzIVCCxtEnrx6Xm3j1k&hl=en&sa=X&redir_esc=y
- Smith, M. (2007). Pago: Establecer pagos por servicios de cuencas. (UICN, Ed.) Gland,, Suiza: ORO Print S. A. Recuperado de: <https://portals.iucn.org/library/node/9221>
- Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER). (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. Recuperado de: <http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration>
- Solís, E. (2014). Contribución de una Red de Conectividad Ecológica para el Servicio Ecosistémico de Polinización en Cultivos Agrícolas. Caso de estudio: El café en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. Recuperado de: <http://agritrop.cirad.fr/575880/>
- TEEB. (2010). Una guía rápida: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad para Diseñadores de Políticas Locales y Regionales. Recuperado de http://www.teebweb.org/media/2010/09/TEEB-D2-Local-and-Regional-Quick-guide_Spanish.pdf

Vargas, O. (2012). Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/plan_nacional_restauracion/Anejo_8_Guias_Tecnicas_Restauracion_Ecologica_2.pdf

Vargas, O. (2011). Restauración Ecológica: Conservación y biodiversidad. *Bdigital*. (16): 2. Recuperado de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/19280/28009>

Whaley, O., Beresford-Jones, D. G., Milliken, W., Orellana, A., Smyk, A. & Leguía, J. (2011). An ecosystem approach to restoration and sustainable management of dry forest in southern Peru. Recuperado de: http://www.kew.org/science/tropamerica/peru/resources/KEWB%20Peru%2012225_2010_9235_OnlinePDF.pdf

