



SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS: UN RECORRIDO POR LOS BENEFICIOS DE LA NATURALEZA

Florencia Rositano^{1*}; Mariana López¹; Patricia Benzi² y Diego O. Ferraro¹

¹IFEVA, Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, CONICET. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Buenos Aires, Argentina.

²INTA, Centro Regional Córdoba, Área de Desarrollo Rural. Ruta 12 km 3 (CP 2580), Marcos Juárez, Córdoba, Argentina

*Autor de contacto: F. Rositano. Dirección: Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (C1417DSE), Buenos Aires, Argentina.

Teléfono/Fax: +54-11-4524-8039/8053 E-mail: rositano@agro.uba.ar

Recibido: 14-06-12
Aceptado: 15-08-12

REVISIÓN

RESUMEN

Numerosos trabajos han sido desarrollados abordando el tema servicios de los ecosistemas. En esta ocasión, se presenta una revisión acerca del alcance de estos trabajos a nivel mundial. Para ello, se revisa la evolución de la definición y clasificación de servicios de los ecosistemas, además de mostrar cuáles son los enfoques metodológicos llevados a cabo en la actualidad con el fin de evaluar su provisión en distintos ecosistemas. Finalmente, se establece el vínculo entre la sustentabilidad de los ecosistemas y su capacidad de proveer servicios. La exposición y discusión de los puntos revisados en este trabajo son útiles tanto como base para entender el funcionamiento ecosistémico como para el diseño de futuras investigaciones que profundicen los aspectos cuantitativos y cualitativos del estudio de la provisión de servicios de los ecosistemas.

Palabras clave: revisión, servicios de los ecosistemas, sustentabilidad.

ECOSYSTEM SERVICES: A TRAVEL THROUGH NATURAL BENEFITS

SUMMARY

Numerous studies have been developed to address the issue of ecosystem services. In this case, we present a review of the scope of these works worldwide. In order to do this, we review the evolution of its definition and classification. Moreover, we show what methodological approaches are undertaken today to evaluate their provision in different ecosystems. Finally, we establish the relationship between ecosystems sustainability and their ability to provide ecosystem services. The exhibition and discussion of certain features present in this work are useful both as a baseline for future research design and to deepen on the quantitative and qualitative aspects of the study of ecosystem services provision.

Keywords: review, ecosystem services, sustainability.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el estudio de los servicios de los ecosistemas ha surgido como una nueva área de investigación debido, principalmente, a su gran importancia para la supervivencia de la vida en la Tierra. Desde un punto de vista

antrópico, y en términos generales, se considera a los servicios de los ecosistemas como los beneficios de la naturaleza hacia la humanidad (MEA, 2005). El concepto de servicios de los ecosistemas surge, por un lado, del movimiento ambientalista de Estados Unidos en la década de 1960 (a partir

Rositano, F.; López, M.; Benzi, P. y D.O. Ferraro. 2012. Servicios de los ecosistemas: un recorrido por los beneficios de la naturaleza. *Rev. Agronomía & Ambiente* 32(1-2): 49-60. FA-UBA, Buenos Aires, Argentina.

de la publicación del libro "*Silent spring*" o "Primavera silenciosa", de Rachel Carson) y, por el otro, de la creciente conceptualización de la naturaleza como conjunto de sistemas integrados (Balvanera *et al.*, 2011). Los autores Mooney y Ehrlich (1997) ofrecen en su artículo "*Ecosystem services: a fragmentary history*" (Servicios de los ecosistemas: una historia fragmentada) una revisión histórica del concepto "servicio del ecosistema" remontándose a 1864 con el libro *Man and Nature* (Hombre y Naturaleza) de George Perkins Marsh. A pesar de su extensa historia, recién en 1997, a partir de una publicación oficial de la Sociedad Norteamericana de Ecología conocida como "*Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems*" (Servicios de los ecosistemas: beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas naturales), el estudio de los servicios de los ecosistemas se incrementó de manera exponencial, demostrando su importancia para la comunidad científica (Fig. 1). La relevancia científica del concepto de servicios de los ecosistemas fue aceptada abiertamente recién a partir de 2005,

cuando se utilizó en un documento conocido como "*Millennium Ecosystem Assessment*" o "Evaluación de los Ecosistemas del Milenio", por su traducción en castellano. Este documento fue el producto del análisis realizado por 1550 investigadores de todo el mundo reunidos en función de su interés por el estudio de los servicios de los ecosistemas. Sus principales objetivos fueron: 1) determinar el estado del arte de la evaluación de los ecosistemas y de los servicios que ellos proveen; y 2) establecer las bases para conservar y utilizar los ecosistemas y los servicios de una manera sustentable (MEA, 2005). Este documento ha contribuido sustancialmente al presentar el concepto de servicios de los ecosistemas como una herramienta para lograr el uso sustentable de los recursos naturales.

Conservar los servicios de los ecosistemas es de vital importancia, ya que se los considera como un "seguro ecológico" para el futuro (Björklund *et al.*, 1999). Es por ello que es responsabilidad de la humanidad mantener los servicios de los ecosistemas más allá de estreses y disturbios que puedan afectarlos. En este sentido, es necesario que

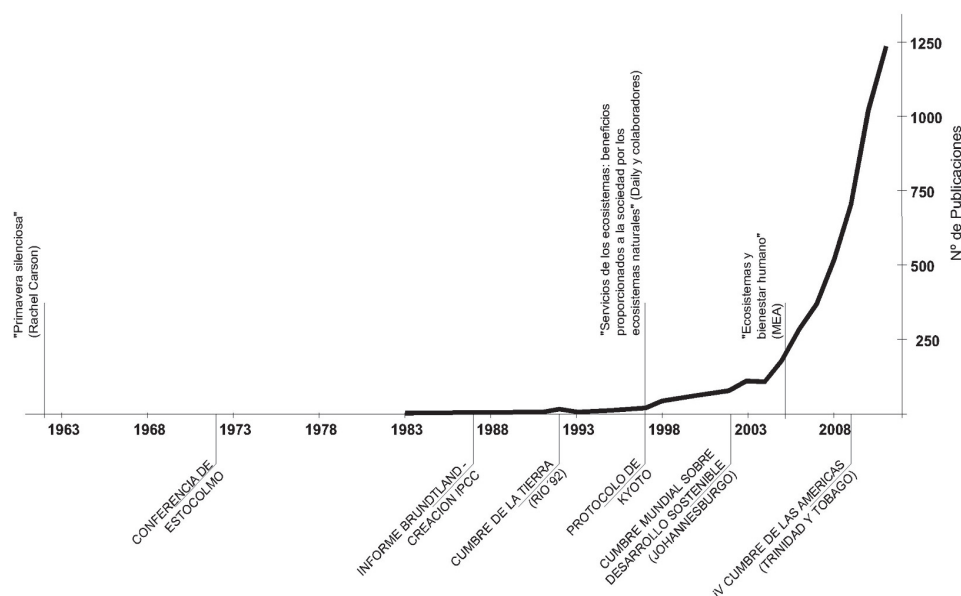


Figura 1. Cantidad de publicaciones halladas utilizando los términos "*ecosystem services*" o "*ecological services*", durante una búsqueda bibliográfica en Scopus en el año 2012. Se incorporó una cronología indicando los eventos históricos más significativos relacionados con el desarrollo de los conceptos de "medio ambiente" (conferencias internacionales) y "servicios de los ecosistemas" (libros y publicaciones en revistas científicas).

Referencias: 1) IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change; y 2) MEA: Millenium Ecosystem Assessment. (Basado en Fisher *et al.*, 2009)

la comunidad científica y política asuma su compromiso frente a la importancia del mantenimiento de los servicios de los ecosistemas. Para ello, el amplio conocimiento sobre este tema debe ser tenido en cuenta con el fin de determinar políticas de acción para su conservación. Este trabajo revisa la evolución de las definiciones y clasificaciones sobre servicios de los ecosistemas, además de mostrar cuáles son los enfoques metodológicos para su estudio llevados a cabo en la actualidad. En última instancia, se establece el vínculo entre el estado de sustentabilidad de los ecosistemas y su capacidad de proveer servicios de los ecosistemas.

EVOLUCIÓN DE LA DEFINICIÓN DE SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

A lo largo de los años, las publicaciones sobre servicios de los ecosistemas han generado distintas definiciones sobre este concepto relativamente nuevo. Cada autor ha intentado darle una definición de acuerdo con el aspecto ecológico dentro del cual centra sus investigaciones. A continuación, se presentan las tres definiciones más comúnmente citadas, ordenadas cronológicamente:

1. Los servicios de los ecosistemas se refieren a las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, mantienen y satisfacen la vida de los seres humanos (Daily, 1997).
2. Los servicios de los ecosistemas son aquellos beneficios percibidos por la población humana derivados, directa o indirectamente, de las funciones del ecosistema (Costanza *et al.*, 1997).
3. Los servicios de los ecosistemas son los beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas (MEA, 2005).

Estas definiciones demuestran que, a pesar de que existe un cierto consenso sobre la idea general de este concepto, se reconocen ciertas diferencias entre ellas. En la primera definición, los servicios de los ecosistemas son aquellas "condiciones y procesos" presentes en los ecosistemas, y resalta el hecho de que las especies que conforman los ecosistemas también sustentan la vida en la Tierra por

su pertenencia a un ecosistema en particular. La segunda definición establece que son los bienes (*i.e.* beneficios directos) (*e.g.* alimentos, fibra, madera) y servicios (*i.e.* beneficios indirectos) producidos por los ecosistemas. Mientras que la tercera, los considera únicamente como los beneficios percibidos por la humanidad; es decir, sin realizar ninguna diferencia entre beneficios directos e indirectos ni determinar el origen ecosistémico de los mismos (*i.e.* funciones del ecosistema), como en la acepción previa.

Luego de estas tres primeras definiciones, han surgido otras dos también interesantes para incluir en el análisis. Estas son:

4. Los servicios de los ecosistemas son los componentes de la naturaleza, directamente disfrutados, consumidos y utilizados con el fin de incrementar el bienestar de la humanidad (Boyd y Banzhaf, 2007).
5. Los servicios de los ecosistemas son los aspectos propios de los ecosistemas utilizados, pasiva o activamente, para producir el bienestar humano (Fisher *et al.*, 2009).

En cuanto a la cuarta definición, los autores establecen que son los productos finales de la naturaleza ya que la humanidad los disfruta, consume y utiliza. Por ejemplo, el agua limpia que es directamente consumida por los hogares, es dependiente de ciertos procesos intermedios inherentes a los ecosistemas. Si se considera a estos procesos intermedios como servicios en sí mismos, se estará haciendo una doble valoración de los mismos ya que están incorporados en el servicio final (Boyd y Banzhaf, 2007). De esta manera, y siguiendo con el ejemplo anterior, los componentes intermedios determinan la provisión del producto final o servicio del ecosistema que es el agua limpia para consumo humano. La quinta y última definición considera dos aspectos importantes. Primero, los servicios de los ecosistemas deben ser procesos ecológicos; y segundo, no tienen por qué ser directamente utilizados. De esta manera, se contrapone con la cuarta definición en que sólo se los consideraba servicios si eran el producto final. Fisher y colaboradores (2009) determinan que, si generan un beneficio para la humanidad,

los procesos intermedios de los ecosistemas también pueden ser considerados como servicios de los ecosistemas.

Es necesario destacar que estas definiciones se centran principalmente en cuestiones antropocéntricas; es decir, se asocian directamente a las necesidades de la humanidad y la capacidad que tienen los ecosistemas de generar beneficios para sustentar esas necesidades. Servicios de los ecosistemas es, ni más ni menos, un término para denominar a los procesos o funciones inherentes a los ecosistemas a partir de los cuales los seres humanos obtienen beneficios. De esta manera, "sin la existencia de los humanos como beneficiarios, no serían servicios" (Fisher *et al.*, 2009). El reconocimiento y la conservación de los servicios de los ecosistemas, que es el fin último de involucrarse en el estudio sobre este tema, debería estar más allá de lo puramente humano e intentar conservarlos por el mero hecho de conservar los ecosistemas que los proveen junto con sus componentes y procesos. Y no sólo conservar sino también hacer un uso racional y sustentable de esos recursos naturales. Sin embargo, como establece Robinson (1993) "el uso sostenible solamente ocurre cuando las necesidades humanas están satisfechas y cuando las pérdidas de la biodiversidad y la degradación del ambiente son aceptados".

Por otro lado, la variación en el concepto "servicio del ecosistema" representa un problema no sólo para el ámbito científico sino también para el ámbito político, ya que existe mayor complejidad al momento de evaluar los resultados obtenidos y reduce, a su vez, la capacidad de comparación de los trabajos. En orden de fortalecer la relevancia política del concepto, es necesario mejorar la base científica para su posterior aplicación práctica.

CLASIFICACIONES DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS

Los intentos de clasificar a los servicios de los ecosistemas deben estar basados en las características inherentes de los ecosistemas a analizar

y en la definición de servicio del ecosistema que se haya tomado en cuenta (Fisher *et al.*, 2009). En base a estos dos aspectos, no existe un esquema de clasificación único para los diferentes contextos en los que se desee investigar sobre este tema. En la actualidad, es posible hallar una serie de clasificaciones presentes en la literatura científica.

Una de las primeras categorizaciones de servicios de los ecosistemas establece que, sumado a la producción de bienes, los servicios mantienen la vida humana a través de: 1) la purificación del aire y del agua; 2) la mitigación de sequías e inundaciones; 3) la generación y preservación de los suelos y renovación de su fertilidad; 4) la detoxificación y descomposición de los residuos; 5) la polinización de los cultivos y de la vegetación natural; 6) la dispersión de semillas; 7) el reciclado y movimiento de nutrientes; 8) el control de la amplia mayoría de las plagas potenciales de la agricultura; 9) el mantenimiento de la biodiversidad; 10) la protección de las líneas de costas de la erosión de las olas; 11) la protección de los rayos solares ultravioletas perjudiciales para la salud; 12) la estabilización parcial del clima; 13) la moderación de los eventos atmosféricos extremos y sus impactos, y 14) la provisión de belleza estética y estímulo intelectual que exalta el espíritu humano (Daily, 1997; Daily *et al.*, 1997). Esta clasificación ha sido utilizada como base teórica para numerosas clasificaciones posteriores.

De Groot y colaboradores (2002) publicaron una clasificación en donde se incluyen 23 procesos de los ecosistemas que proveen una lista más extensa de bienes y servicios de los ecosistemas naturales y seminaturales. Así, esta clasificación los agrupa en: 1) funciones de regulación (e.g. purificación del aire y del agua, preservación de suelos); 2) funciones de hábitat (e.g. mantenimiento de la biodiversidad, polinización, dispersión de semillas); 3) funciones de producción (e.g. bienes tangibles como semillas y granos), y 4) funciones de información (relacionado directamente al desarrollo cultural como enriquecimiento espiritual, recreación, entre otros) (de Groot *et al.*, 2002). Los auto-

res establecen que, si bien el orden de la clasificación parece arbitrario, los dos primeros grupos de funciones son esenciales para el mantenimiento de los procesos y componentes de los ecosistemas y, a su vez, condicionantes de la disponibilidad y provisión de los restantes dos grupos de funciones.

Una de las clasificaciones más difundidas y utilizadas que se han desarrollado en los últimos tiempos es aquella publicada por "Evaluación de los Ecosistemas del Milenio", la cual evalúa las consecuencias de los cambios en los ecosistemas generados por la humanidad. El grupo de investigadores reunió a los servicios de los ecosistemas en cuatro categorías principales: 1) servicios de soporte o apoyo, aquellos necesarios para la producción de los restantes servicios de los ecosis-

temas, como la formación del suelo o la fotosíntesis; 2) servicios de provisión, aquellos productos o bienes obtenidos de los ecosistemas, como la madera, el combustible, o las fibras; 3) servicios de regulación, aquellos beneficios obtenidos de la regulación de los procesos de los ecosistemas, como la regulación del agua, de la erosión y de la calidad del aire; y 4) servicios culturales, aquellos beneficios no-materiales, como el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, y la recreación (MEA, 2005) (ver Foto 1 para ejemplificar). A diferencia de la clasificación publicada por de Groot y colaboradores (2002), el mantenimiento de la biodiversidad no es considerado como un servicio en sí mismo sino que lo incorpora como un elemento imprescindible para los cuatro grupos de



Foto: Mariana Lopez



Foto: Pamela Graff

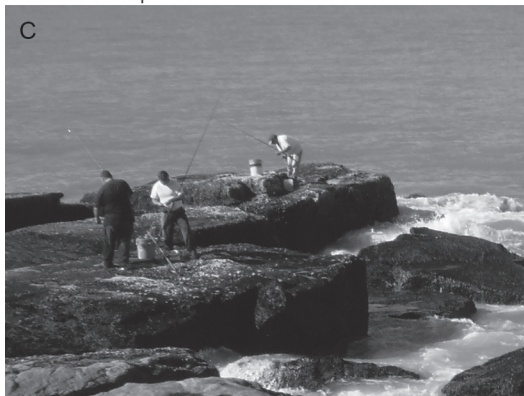


Foto: Florencia Rositano



Foto: German Wies

Foto 1. Ejemplos de servicios de los ecosistemas. A: Paisaje (servicio cultural de belleza estética). B: Insecto polinizando una flor (servicio de polinización). C: Hombres extrayendo peces del mar (servicio de provisión de alimentos). D: Cultivo de maíz que proveerá de bienes como semillas y granos (servicio de provisión de alimentos).

servicios definidos. En resumen, esta propuesta explica en detalle qué obtienen las sociedades de los ecosistemas en cuanto a bienes tangibles así como intangibles. Sin embargo, uno de los principales problemas de esta clasificación es que la noción de servicios de los ecosistemas está todavía poco desarrollada en términos teóricos y metodológicos (Aguilar *et al.*, 2008). Su carácter es más de tipo operativo con el fin de que sea adoptado por tomadores de decisión (*i.e.* técnicos y productores asociados a la producción agropecuaria). Otra crítica importante que se le hace es que al confundir a los servicios de los ecosistemas como los beneficios finales para la sociedad con los procesos que realmente los soportan (ver sección Evolución de la definición de servicios de los ecosistemas), se dificultan no sólo los procesos de valoración y los análisis de interacción entre diferentes servicios sino también, en definitiva, la toma de decisiones sobre el uso de la tierra basadas en la provisión de servicios de los ecosistemas (Wallace, 2007).

Otra útil forma de clasificar a los servicios de los ecosistemas es aquella basada en los intereses de la humanidad, ofreciendo una estructura en donde las consecuencias del manejo de los ecosistemas sobre el bienestar de la humanidad son analizadas. De manera general, describe a los servicios en términos de la estructura y composición de los elementos del ecosistema, y estos servicios están a su vez clasificados de acuerdo a los valores humanos que estos apoyan. Las categorías de servicios utilizadas en esta clasificación representan valores sociales: 1) recursos adecuados, necesidades básicas que sustentan la vida de los individuos (*e.g.* el alimento debe proveer de los nutrientes necesarios y encontrarse en cantidades suficientes en el tiempo y en el espacio para satisfacer las necesidades de los seres humanos); 2) ambiente físico y químico benigno, aquellos procesos del ecosistema que mantienen el ambiente físico y químico dentro de los niveles de tolerancia humana brindan este tipo de servicio; 3) protección contra depredadores, enfermedades y parásitos; y 4) cumplimiento socio-cultural,

podemos mencionar satisfacción espiritual y filosófica, recreación y belleza estética, entre otros (Wallace, 2007).

Costanza (2008) propone otras dos clasificaciones: la primera, de acuerdo con sus características espaciales, es decir, la escala espacial (local, regional y/o global) en la cual operan; y la segunda, de acuerdo con el grado de "exclusión/rivalidad" entre servicios provistos por un mismo ecosistema. Dentro de la primera, se consideran cuatro categorías: 1) globales (*e.g.* regulación del clima, secuestro de carbono); 2) locales (*e.g.* regulación de disturbios, control biológico, polinización); 3) flujo direccionado, desde el sitio de producción hasta el sitio de utilización del servicio (*e.g.* protección contra inundaciones, provisión de agua, control de la erosión); 4) *in situ* (*e.g.* formación del suelo, producción de alimentos), y 5) usuario dependiente (*e.g.* recursos genéticos, recreación, belleza estética). La segunda clasificación propuesta establece que los bienes y servicios pueden ser excluyentes o rivales (Costanza, 2008). En el primer caso, los individuos son excluidos de ser beneficiados de ellos. Por ejemplo, un individuo puede evitar que otros consuman los alimentos que él cosecha en su huerta, a menos que le paguen por ellos. En el segundo caso, un individuo que se beneficia de un bien o servicio puede interferir con o ser rival de otro individuo que se beneficiaría de ese mismo bien o servicio. Por ejemplo, si un individuo consume un alimento, no es posible que otro individuo también lo consuma.

Fisher y colaboradores (2009) proponen otro esquema de clasificación donde los procesos (denominados por el autor como funciones) y la estructura (llamada componentes en la definición de Boyd y Banzhaf (2007), ver sección Evolución de la definición de servicios de los ecosistemas) de los ecosistemas son consideradas como "servicios intermedios", que a su vez determinan "servicios finales". En muchos casos, un servicio del ecosistema es el resultado de una o más funciones del ecosistema; mientras que, en otros casos, una función del ecosistema contribuye a dos o más servicios. En este sentido, varios servicios in-

Tabla 1. Cuadro comparativo de las clasificaciones de servicios de los ecosistemas mencionadas en el texto, tomando como línea de base la categorización presentada por Daily (1997). La clasificación de exclusión-rivalidad (Costanza, 2008) no fue incluida debido a criterios incompatibles con el sistema de comparación presentado. Los cuadros grises representan la falta de información en la clasificación, aunque no implica que no se encuentren incluidos en la clasificación correspondiente.

Referencias: 1- Control de la erosión de la línea de costas (Daily, 1997): en las restantes clasificaciones este servicio es considerado como erosión del suelo, en términos generales; 2- Protección frente a depredadores, enfermedades y parásitos (Wallace, 2007); 3- Daily (1997) considera a la biodiversidad como la variedad de formas de vida y recursos genéticos. Sin embargo, de Groot *et al.* (2002) considera únicamente a los recursos genéticos, con el fin de conservación y/o producción. Finalmente, MEA (2005) no considera a la biodiversidad como un servicio sino como un aspecto englobador de los cuatro tipos de servicios, considerando a los recursos genéticos como un aspecto de los servicios de provisión.

DAILY (1997)	DE GROOT et al. (2002)	MEA (2005)	WALLACE (2007)	COSTANZA (2008)	FISHER et al. (2009)	
PURIFICACION DEL AIRE	Funciones de regulación	Servicios de regulación	Recursos adecuados	Global	Servicios intermedios	
PURIFICACION DEL AGUA				Flujo direccionado		
MITIGACION DE SEQUIAS				Local		
MITIGACION DE INUNDACIONES				Flujo direccionado		
ESTABILIZACION DEL CLIMA				Global		
MITIGACION DE EVENTOS ATMOSFERICOS						
POLINIZACION			Ambiente benigno (físico y químico)	Local		
DETOXIFICACION Y DESCOMPOSICION DE RESIDUOS						
CONTROL DE ADVERSIDADES BIOTICAS			Protección ²			
CONTROL DE LA EROSION DE LINEAS DE COSTAS ¹				Flujo direccionado		
GENERACION Y PRESERVACION DEL SUELO		Servicios de soporte	Ambiente benigno (físico y químico)	<i>In-situ</i>		
RENOVACION DE LA FERTILIDAD DEL SUELO				Local		
RECICLADO Y MOVIMIENTO DE NUTRIENTES				Flujo direccionado		
PROTECCION DE RAYOS SOLARES						
DISPERSION DE SEMILLAS			Recursos adecuados			
PRODUCCION DE BIENES	Func. de producción	Servicio de provisión		<i>In-situ</i>	Servicios finales	
PROVISION DE BELLEZA ESTETICA	Funciones de información	Servicios culturales	Realización socio-cultural	Usuario dependiente / Global		
ESTIMULO INTELLECTUAL Y ESPIRITUAL						
MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD ³	Func. de hábitat y/o producción	Servicio de provisión		Usuario dependiente		

termedios (e.g. producción primaria, composición de especies) pueden determinar el nivel de provisión de un servicio final (e.g. secuestro de C) (Volante *et al.*, 2012).

Por último, es posible la comparación de las distintas clasificaciones tomando como línea de base la lista original de servicios de los ecosistemas extraída de Daily (1997). A partir de esta comparación, es posible establecer que existen ciertas diferencias y similitudes entre las cinco clasificaciones expuestas en esta sección (Tabla 1). Una de las principales diferencias es la falta de consenso entre los diferentes autores sobre la categoría en la cual incluir el servicio de mantenimiento de la biodiversidad. Entre las similitudes, se puede observar que ciertos servicios (e.g. purificación del aire, purificación del agua, mitigación de sequías, mitigación de inundaciones) son ubicados en una misma categoría (salvo cuando se establece la escala

espacial en la cual opera cada uno de ellos). Estas diferentes tipologías de clasificación debieran ser suficientes para indicar que hay muchas maneras de clasificar a los servicios de los ecosistemas y que cada una de ellas puede ser útil para distintos propósitos y objetivos de estudio.

EVALUACIÓN DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS EN DISTINTOS ECOSISTEMAS

En la actualidad, se carece de una metodología de evaluación común y generalizada de la provisión de servicios de los ecosistemas. Sin embargo, existen tres enfoques utilizados para agrupar las distintas aproximaciones metodológicas:

1) *Enfoque ecológico*: como se dijo anteriormente, los procesos y la estructura asociados a

los ecosistemas determinan su capacidad de proveer servicios. Así, bajo este enfoque se llevan a cabo diferentes estudios biofísicos, los cuales analizan estos procesos y estructura de cada ecosistema. Por ejemplo, Carreño y Viglizzo (2010) establecen que la mayoría de los servicios de los ecosistemas pueden ser explicados y representados a partir de dos indicadores dinámicos, ya que pueden variar en el espacio y en el tiempo: a) la productividad primaria neta (PPN), y b) la disponibilidad de agua. Es decir, biomasa y agua son dos componentes clave de los ecosistemas que están asociados a la provisión de servicios. Algunas metodologías que se encuentran dentro de este enfoque son la síntesis emergética (*i.e.* conversión de todos los flujos de energía a una unidad común que referencia cada magnitud de energía en términos de energía solar equivalente integrando en una misma unidad el flujo de materia, energía y capital) y la huella ecológica (*i.e.* cantidad de tierra bioproductiva que un ser humano y/o sociedad requiere para vivir en un año).

2) *Enfoque económico*: este grupo de metodologías intenta no sólo asignar un valor de mercado a los servicios de los ecosistemas sino también determinar cambios en el bienestar humano al modificarse la provisión de un determinado servicio. Por ejemplo, si desaparecieran los insectos polinizadores (y, por ende, el servicio de polinización de especies naturales y cultivadas), cuánto costaría polinizar a través de técnicas manuales las especies cultivadas para asegurar la producción de alimentos. En el marco de la economía ambiental, podemos distinguir los métodos de evaluación indirectos, los cuales intentan inferir la valoración que hacen las personas de un hecho que ya ocurrió a partir de la observación de su conducta en el mercado; y los métodos directos, los cuales presentan una situación hipotética que aún no se ha producido (Chee, 2004; Swinton *et al.*, 2007; de Groot *et al.*, 2010). Costos evitados o inducidos, costo de viaje, precios hedónicos y costo de reemplazo o restauración son algunos de los métodos indirectos; mientras que valoración contingente, por ejemplo, pertenece al grupo de

los métodos directos (Penna *et al.*, 2011). El enfoque de valoración económica se propone con el fin de facilitar el desarrollo de políticas públicas relativas a la explotación de recursos naturales (Solow, 1986; Daily *et al.*, 2009). Sin embargo, el desarrollo de este enfoque no está completamente resuelto; es por ello que más del 80% de los servicios de los ecosistemas aún no poseen valor de mercado (Costanza *et al.*, 1997; Costanza *et al.*, 1998; de Groot *et al.*, 2010). Una de sus principales desventajas es el hecho de que sólo captura parte del valor real del servicio del ecosistema en estudio, ya que no incluye los aspectos ecológicos ni los aspectos socio-culturales (de Groot *et al.*, 2010).

3) *Enfoque socio-cultural*: los valores y las percepciones sociales juegan un rol vital al momento de determinar la importancia de los ecosistemas y su capacidad de proveer servicios. Un supuesto de este enfoque consiste en que los individuos pueden proveer valoraciones fundamentadas sobre la importancia de los servicios no sólo para los individuos sino también para la sociedad (Farber *et al.*, 2002). Por ejemplo, existen estudios orientados en conocer la opinión y las percepciones de los productores sobre los servicios involucrados en su actividad agrícola (Sandhu *et al.*, 2007).

Un aspecto importante a destacar es que estos tres enfoques pueden considerar tanto el aspecto espacial como el temporal (Martín-López *et al.*, 2009). Por un lado, la incorporación de la escala espacial permite analizar cómo una decisión tomada en un lugar afecta la provisión de uno o más servicios en otros lugares. Algunos autores establecen que los beneficios de la provisión de un servicio podrían ser solamente medidos considerando una escala mayor a la puramente local (Dale y Polasky, 2007). En este sentido, la caracterización de los servicios de los ecosistemas en la escala local, regional y/o global sería de gran utilidad para el desarrollo de planes de conservación y manejo de la tierra (Daily, 2000; Kremen y Ostfeld, 2005). Por otro lado, mediante el análisis de la escala temporal se infiere cómo una decisión actual puede afectar a futuro la oferta de servicios. Sin importar la escala espacial o temporal a la cual

se esté llevando a cabo el análisis, es factible encontrar casos en donde el manejo de los ecosistemas puede determinar interacciones entre los servicios de los ecosistemas (Maas *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2006). Estas interacciones son conocidas como *trade-offs* (i.e. compromisos) y sinergias (Bennett *et al.*, 2009). Un *trade-off* ocurre cuando la provisión de un servicio se incrementa a costa de reducir la provisión de otro, mientras que una sinergia surge cuando la provisión de dos o más servicios se incrementa simultáneamente (Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010). Por ejemplo, en los sistemas agrícolas del sur de la provincia de Buenos Aires existe un *trade-off* entre la producción agrícola y la producción animal, el mantenimiento de los cuerpos de agua limpia y la calidad de los acuíferos (Latterra *et al.*, 2012). Por otro lado, en los sistemas agrícolas del norte de la provincia de Córdoba la siembra directa determina una sinergia entre la conservación del suelo y el balance de nitrógeno; es decir, ambos servicios se incrementan gracias al residuo de cosecha que se deja en superficie determinando no sólo la cobertura del suelo y su protección frente a disturbios (e.g. erosión hídrica y/o eólica) sino también una fuente significativa de nutrientes (Rositano y Ferraro, 2011).

SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD: ¿ES POSIBLE UNA RELACIÓN ENTRE AMBOS CONCEPTOS?

En la actualidad, el 60% de los servicios de los ecosistemas presentes en el mundo están siendo degradados o bajo una utilización no sustentable (MEA, 2005). A partir de esta aseveración, un último factor a considerar en el estudio de los servicios de los ecosistemas es la conservación y la utilización sustentable de todos los tipos de ecosistemas que los proveen. La sustentabilidad de los ecosistemas se entiende como el mantenimiento de su organización y autonomía a través del tiempo y su resiliencia (i.e. la capacidad de un sistema para retornar a las condiciones previas a

la perturbación) frente a estreses (Rapport *et al.*, 1998). Si la sustentabilidad de los ecosistemas se ve alterada, se convertirán en sistemas estresados y luego, con el paso del tiempo y el aumento del grado de entropía (i.e. el grado de desorden), en altamente degradados. Dependiendo del grado de estrés y de degradación que los ecosistemas alcancen, éstos dejarán progresivamente de proveer servicios (Daily, 2000). Esta insuficiencia generará la reducción de la capacidad inherente a los ecosistemas de sostener no sólo la actividad económica sino también la salud humana (Rapport *et al.*, 1998). En base a esto, se sugiere que el estudio de los servicios de los ecosistemas puede contribuir al análisis de la sustentabilidad de los ecosistemas.

Los servicios de los ecosistemas son vulnerables tanto al cambio de uso de la tierra (Metzger *et al.*, 2006) como también a otro tipo de impactos, como por ejemplo, las prácticas agrícolas. En las últimas décadas, el cambio de grandes áreas naturales en sistemas agrícolas ha promovido un creciente interés por la evaluación de los servicios de los ecosistemas provistos por este tipo de sistemas (Fisher *et al.*, 2009). La agricultura y los servicios de los ecosistemas están interrelacionados a través de tres aspectos, dos de ellos positivos y uno negativo (Dale y Polasky, 2007). Entre los dos primeros, los sistemas agrícolas generan beneficios en los ecosistemas (e.g. retención del suelo o producción de alimentos) y, a su vez, se ven beneficiados por servicios provistos por los ecosistemas naturales (e.g. polinización). Respecto al aspecto negativo, los servicios de los ecosistemas pueden ser impactados por las prácticas agrícolas; es decir, el manejo que se aplique a los sistemas agrícolas puede reducir la habilidad de los ecosistemas de proveer servicios (Fig. 2). Desde otro punto de vista, al mismo tiempo que los productores agrícolas se benefician de una amplia variedad de servicios, los restantes individuos de la sociedad se ven beneficiados o perjudicados por las prácticas de manejo que influyen de manera significativa sobre el estado de provisión de ciertos servicios (Power, 2010). Estudios que

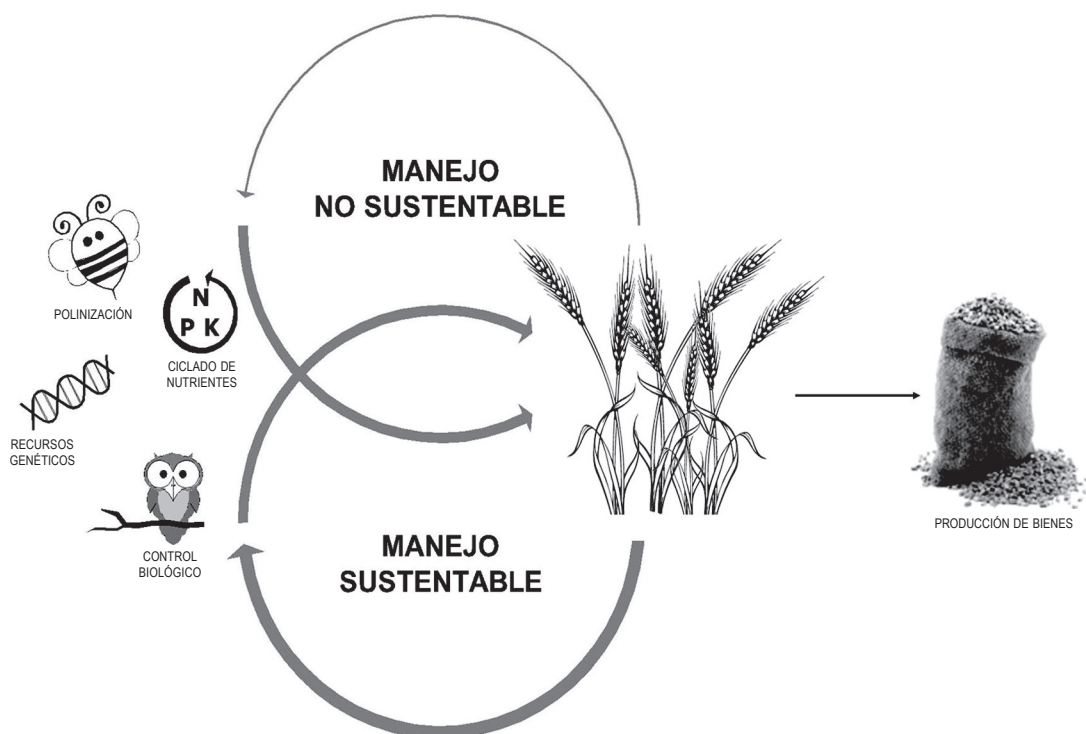


Figura 2. Vinculación entre servicios de los ecosistemas y sustentabilidad. La producción de bienes (e.g. fibras, granos) en sistemas agrícolas se ve beneficiada por servicios provistos por aquellos ecosistemas naturales que los rodean (e.g. polinización, ciclado de nutrientes, recursos genéticos, control biológico). El manejo de los sistemas productivos (i.e. prácticas agrícolas) puede afectar la habilidad de los ecosistemas de proveer servicios; es decir, no sólo se reduce la cantidad sino también la calidad de esos servicios (línea fina). Esto ocurre en sistemas productivos bajo un manejo no sustentable; sin embargo, el manejo sustentable mantiene a los servicios de los ecosistemas en niveles deseables de provisión (línea gruesa).

profundicen la relación entre los servicios de los ecosistemas y el impacto de las prácticas agrícolas sobre ellos es esencial para identificar las opciones productivas que den lugar a una agricultura sustentable (Tilman *et al.*, 2002; Dale y Polasky, 2007).

CONCLUSIONES

Desde los primeros indicios de su existencia hasta la actualidad, la comunidad científica ha avanzado de manera considerable en el estudio de los servicios de los ecosistemas. Esto se evidencia a lo largo de nuestro trabajo donde se describen los principales aspectos en cuanto a defi-

niciones, clasificaciones y enfoques metodológicos para la evaluación de su provisión en distintos ecosistemas. La información aquí presentada puede ser considerada como material de estudio para estudiantes de grado o posgrado en el campo de acción de la biología y la agronomía, y también como la base teórica o punto de partida para futuras investigaciones. La profundización en el estudio sobre este tema es fundamental para determinar la importancia de los ecosistemas como proveedores de servicios. En base a los elementos, tanto teóricos como utilitarios, que se presentan en este trabajo, es posible definir una línea deseable sobre la que deberían apoyarse las futuras investigaciones basadas en el estudio de la provisión de los

servicios de los ecosistemas. Dos aspectos claves a considerar son: 1) elementos puramente cuantitativos como ser, por ejemplo, la determinación de la relación entre la cantidad y calidad de los servicios provistos y la condición de los ecosistemas (*i.e.* relativamente prístinos *versus* altamente modificados) que los proveen; hasta 2) elementos cualitativos como la inclusión de la percepción de distintos actores sociales (*e.g.* público en general, productores y asesores agropecuarios, investigadores, *policy-makers*) sobre el esta-

do actual de la provisión de servicios en distintos ecosistemas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (CRN-2031), por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (PIP 132) y por la Universidad de Buenos Aires (UBACYT 20020090200121). Agradecemos a E. De la Fuente y a C. Gelabert, así como al editor y a dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R.; R. Celleri; F. Cisneros ; Y. Huanay; A. Molina; A. Palacios; P. Palacios; A. Portilla; F. Rodriguez; C. Ruiz y V. Vanacker. 2008. Servicios ambientales hidrológicos en los Andes. CONDESAN, <http://www.infoandina.org/ServiciosHidrologicos2008/>
- Balvanera, P.; A. Castillo; E. Lazos Chavero; K. Caballero; S. Quijas; A. Flores; C. Galicia; L. Martínez; A. Saldaña; M. Sánchez; M. Maas; P. Ávila; Y. Martínez; L.M. Galindo y J. Sarukhán. 2011. Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. En: Laterra, P.; E. Jobbágy y J. Paruelo (eds.) Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA. Pp. 39-68.
- Bennett, M.E.; G.D. Peterson and L.J. Gordon. 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters* 12: 1-11.
- Björklund, J.; K.E. Limburg and T. Rydberg. 1999. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden. *Ecological Economics* 29: 269-291.
- Boyd, J. and S. Banzhaf. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63: 616-626.
- Carreño, L.V. y E.F. Viglizzo. 2010. Efecto de la agricultura sobre la provisión de servicios ecosistémicos. En: Viglizzo, E.F. y E. Jobbágy (eds.) Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental. Ediciones INTA. Pp. 47-51.
- Chee, Y.E. 2004. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation* 120: 549-565.
- Costanza, R. 2008. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation* 141: 350-352.
- Costanza, R.; R. d'Arge; R. de Groot; S. Farber; M. Grasso; B. Hannon; K. Limburg; S. Naeem; R.V. O'Neill; J.M. Paruelo; R.G. Raskin; P. Sutton and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Costanza, R.; R. d'Arge; R. de Groot; S. Farber; M. Grasso; B. Hannon; K. Limburg; S. Naeem; R.V. O'Neill; J.M. Paruelo; R.G. Raskin; P. Sutton and M. van den Belt. 1998. The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecological Economics* 25: 67-72.
- Daily, G.C. 1997. Introduction: what are ecosystem services? In: Daily, G.C. (ed.) Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. Pp. 1-10.
- Daily, G.C. 2000. Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy* 3: 333-339.
- 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 and G.M. Woodwell. 1997. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2: 1-16.
- Daily, G.C.; S. Polasky; J. Goldstein; P.M. Kareiva; H.A. Mooney; L. Pejchar; T.H. Ricketts; J. Salzman and R. Shallenberger. 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 21-28.

- Dale, V.H. and S. Polasky. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics* 64: 286-296.
- de Groot, R.S.; M.A. Wilson and R.M.J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408.
- de Groot, R.S.; R. Alkemade; L. Braat; L. Hein and L. Willemen. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity* 7(3): 260-272.
- Farber, S.; R. Costanza and M. Wilson. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41: 375-392.
- Fisher, B.; R.K. Turner and P. Morling. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68: 643-653.
- Kremen, C. and R.S. Ostfeld. 2005. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in the Ecology and the Environment* 3: 540-548.
- Laterra, P.; M.E. Orúe and G.C. Booman. 2012. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154: 56-67.
- Maas, J.M.; P. Balvanera; A. Castillo; G.C. Daily; H.A. Mooney; P. Ehrlich; M. Quesada; A. Miranda; V.J. Jaramillo; F. García-Oliva; A. Martínez-Yrizar; H. Cotler; J. López-Blanco; J.A. Pérez-Jiménez; A. Búrquez; C. Tinoco; G. Ceballos; L. Barraza; R. Ayala and J. Sarukhán. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10(1): 17 (online). URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/>
- MEA. 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Washington, DC.
- Martín-López, B.; E. Gómez-Baggethun; P.L. Lomas and C. Montes. 2009. Effects of spatial and temporal scales on cultural services valuation. *Journal of Environmental Management* 90: 1050-1059.
- Metzger, M.J.; M.D.A. Rounsevell; L. Acosta-Michlik; R. Leemans and D. Schroter. 2006. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 69-85.
- Mooney, H. and P. Ehrlich. 1997. Ecosystem services: a fragmentary history. In: Daily, G.C. (ed.) *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington DC. Pp. 11-19.
- Penna, J.; J. de Prada y E. Cristeche. 2011. Valoración económica de los servicios ambientales: teoría, métodos y aplicaciones. En: Laterra, P.; E. Jobbágy y J. Paruelo (eds.) *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA. Pp. 85-120.
- Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365: 2959-2971.
- Raudsepp-Hearne, C.; G.D. Peterson and E.M. Bennett. 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(11): 5242-5247.
- Rapport, D.J.; R. Costanza and A.J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* 13: 397-402.
- Robinson, J.G. 1993. The limits to caring: Sustainable living and the loss of biodiversity. *Conservation Biology* 7(1): 20-28.
- Rodríguez, J.P.; T.D. Beard; E.M. Bennett; G.S. Cumming; S.J. Cork; J. Agard; A.P. Obson and G.D. Peterson. 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society* 11(1): 28 (online). URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art28/>
- Rositano, F. y D.O. Ferraro. 2011. ¿Existe interdependencia entre los servicios de los ecosistemas provistos por los agro-ecosistemas pampeanos? En: López Calderón, A. y W.A. Pengue (eds.) *Curso internacional de Economía Ecológica. V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente*. Ediciones Universidad Nacional del Litoral.
- Sandhu, H.S.; S.D. Wratten and R. Cullen. 2007. From poachers to gamekeepers: perceptions of farmers towards ecosystem services on arable farmland. *International Journal of Agricultural Sustainability* 5: 39-50.
- Solow, R. 1986. On the intergenerational allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88: 141-149.
- Swinton, S.M.; F. Lupi; G.P. Robertson and S.K. Hamilton. 2007. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics* 64: 245-252.
- Tilman, D.; K.G. Cassman; P.A. Matson; R. Naylor and S. Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Volante, J.N.; D. Alcaraz-Segura; M.J. Mosciaro; E.F. Viglizzo and J.M. Paruelo. 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154: 12-22.
- Wallace, K.J. 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* 139: 235-246.