

# EVALUACIÓN Y MAPEO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN URUGUAY



## Coordinador General

Alejandro Brazeiro

## Coordinadores del Producto

Alvaro Soutullo y Lucía Bartesaghi

## Investigadores

Marcel Achkar, Alfredo Blum, Alejandro Brazeiro, Mauricio Ceroni, Ofelia Gutiérrez,  
Daniel Panario, Lorena Rodríguez-Gallego

**Montevideo, marzo 2012**

## **PRESENTACIÓN**

El presente informe se enmarca en el convenio de trabajo firmado entre el MGAP- Proyecto de Producción Responsable y la Sociedad Zoológica del Uruguay, para la implementación de una Eco-regionalización del Uruguay. Este acuerdo es parte de un acuerdo de trabajo entre el Proyecto de Producción Responsable, la Sociedad Zoológica del Uruguay, CIEDUR, Vida Silvestre Uruguay y la Facultad de Ciencias, cuyo objetivo general es desarrollar un esquema de eco-regionalización del territorio Uruguayo para la planificación ambiental del país, que incluya la delimitación y caracterización ambiental de las eco-regiones y una evaluación de sus valores de conservación, presiones y amenazas.

En particular, en este informe se presenta el cuarto producto comprometido, que se enfoca en la evaluación y mapeo de los principales servicios ecosistémicos de Uruguay. Cabe destacar que este producto es un insumo central para la evaluación del valor de conservación de los diferentes ecosistemas del país, y en definitiva para la identificación de los sitios prioritarios dentro de cada eco-región.

## **RESUMEN**

Se evaluó la contribución de 23 grupos de ecosistemas nativos y antrópicos a la producción de alimentos, recursos genéticos, agua, combustible, y materiales para construcciones y fibras, y al mantenimiento de un clima habitable, la calidad del agua, la amortiguación de eventos extremos, y la disminución de enfermedades y plagas. Se observó una fuerte correlación positiva en la contribución relativa de los diferentes ecosistemas a la provisión de todos los servicios considerados, lo que sugiere que en general la importancia relativa de un ecosistema a la provisión de un servicio refleja la contribución de ese ecosistema a la provisión de los demás servicios considerados. En términos generales los bosques húmedos y los bañados son los ecosistemas que más contribuyen a la provisión de todos los servicios analizados, siendo las zonas urbanas y suburbanas y los cultivos (incluyendo forestación y arroz) los ecosistemas que realizan los aportes menos significativos a la producción de dichos servicios. Estos resultados son similares a los encontrados por estudios que evalúan el valor económico de diferentes ecosistemas, y tienen implicaciones importantes para la planificación territorial y el desarrollo de esquemas de producción agropecuarios sostenibles en el tiempo. Esto es particularmente relevante para el desarrollo de planes de ordenamiento del territorio que aseguren el mantenimiento de paisajes funcionales, resilientes a cambios en el clima y los usos del suelo, y capaces de mantener el rango completo de servicios de los que depende el bienestar humano. Por ejemplo, nuestro análisis sugiere que el aumento en la superficie cubierta por cultivos podría estar de hecho afectando negativamente la capacidad del territorio nacional de producir alimentos. Sostener la producción agrícola podría necesitar esquemas de ordenamiento que aseguren la integración de diferentes ecosistemas en el territorio, de forma de asegurar el mantenimiento de funciones de regulación y soporte esenciales para la producción de alimento. Esta primera aproximación al abordaje de estas temáticas en Uruguay pretende ser una invitación a la discusión de estos conceptos y métodos, y al análisis de sus implicancias para la planificación del desarrollo del país.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2001 el Secretario General de las Naciones Unidas lanzó la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM), un programa de trabajo internacional de cuatro años de duración, diseñado para contar con información científica sobre los vínculos entre el estado de los ecosistemas y el bienestar humano. El estudio se centró en determinar en qué medida los cambios en los servicios de los ecosistemas han afectado el bienestar humano, de qué manera los cambios en los ecosistemas pueden afectar a las personas en las próximas décadas, y qué tipos de respuestas pueden adoptarse en las escalas local, nacional y global, con el fin de mejorar el manejo de los ecosistemas, y con ello, contribuir al bienestar humano y a la disminución de la pobreza (MA, 2005).

La EM permitió además elaborar un marco conceptual para abordar el análisis de la vinculación entre los cambios en los ecosistemas y el bienestar humano: los impactos que las actividades humanas tienen sobre la salud de los ecosistemas afectan los servicios que brindan los ecosistemas y esto tiene consecuencias sobre los diferentes componentes del bienestar humano (la seguridad, el material básico para una buena vida, la salud, y las relaciones culturales y sociales); estos componentes del bienestar son influenciados por las decisiones de las personas, pero a su vez tienen una influencia sobre la libertad de elección y acción de las personas (Figura 1).



Figura 1. Vínculos entre los servicios ecosistémicos y los diferentes componentes del bienestar humano (MA, 2005).

La Figura 2 resume el rol que juega la biodiversidad en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, y por ende en la provisión de servicios ecosistémicos y el bienestar humano, y el impacto que tienen las actividades humanas en el propio bienestar y en

la salud de los ecosistemas a través de los cambios que generan en los ciclos biogeoquímicos y el clima, entre otros impulsores del cambio global.



Figura 2. Vínculos entre las actividades humanas, la salud de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano (Martín-López *et al.*, 2007).

La sencillez conceptual del esquema desarrollado por la EM constituye una poderosa herramienta a la hora de facilitar la comunicación entre la comunidad científica y los tomadores de decisiones. Sin embargo, esta sencillez desaparece a la hora de traducir estos conceptos en términos más operativos. Como consecuencia, existe una diversidad de definiciones, taxonomías y aproximaciones metodológicas para la investigación, valoración y gestión de servicios ecosistémicos (de Groot *et al.*, 2002; MA, 2005; Wallace, 2007; Costanza, 2008; Fisher *et al.*, 2009). La investigación en servicios ecosistémicos es de hecho una de las áreas de mayor desarrollo dentro de las ciencias ambientales en la última década.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este estudio consistió en evaluar la contribución relativa de los diferentes ecosistemas de Uruguay (incluyendo tanto ecosistemas nativos como ecosistemas antrópicos o antropizados) a la provisión de nueve servicios ecosistémicos: producción de alimentos, recursos genéticos, agua, combustible y materiales para construcciones y fibras, y mantenimiento de un clima habitable, la calidad del agua, la amortiguación de eventos extremos, y la disminución de enfermedades y plagas.

## 3. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

A efectos de precisar los alcances y supuestos de este estudio se definen explícitamente los conceptos y criterios utilizados. En lugar de limitarse a medir el valor de la cantidad de un producto o servicio generado en un ecosistema, la aproximación utilizada buscó comprender y considerar los procesos y productos que permiten la producción de un servicio en un ecosistema dado, incluyendo aquellos que no ocurren directamente en el ecosistema en cuestión. De esta forma se buscó entender y evaluar las interrelaciones que sostienen la provisión de servicios en un territorio. En ese sentido este análisis se centra en el estudio de los aportes locales de los servicios de los ecosistemas (Kremen, 2005; Costanza, 2008; Fisher *et al.*, 2009). Es decir, aquellos que se perciben dentro de los límites del territorio que incluye el ecosistema en cuestión y su entorno inmediato.

La metodología de análisis utilizada sigue la propuesta desarrollada por Maynard *et al.* (2010) y consiste en:

1. Identificar los servicios ecosistémicos a considerar e identificar las funciones ecosistémicas que están detrás de esos servicios;
2. Asignar a cada ecosistema un puntaje según la magnitud relativa de esas funciones en comparación con la que presentan otros ecosistemas;
3. Asignar a cada función un puntaje según su contribución relativa a la provisión de cada servicio;
4. Mapear la contribución relativa de cada sector del territorio a cada servicio, sobre la base de la distribución espacial de los ecosistemas considerados.

A estos efectos definimos **funciones ecosistémicas** como los procesos biológicos, geoquímicos y físicos que tienen lugar en un ecosistema y producen un servicio, y **servicios ecosistémicos** como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (modificado de Maynard *et al.*, 2010). Sobre la base de la clasificación propuesta por Maynard *et al.* (2010) se realizó una selección de las funciones (Tabla 1) y servicios (Tabla 2) a considerar en este análisis, descartando aquellos sobre los que no fue posible para el equipo de trabajo asignar valores con la información disponible.

Se incluyeron funciones correspondientes a tres grandes categorías:

- Regulación: procesos que permiten el mantenimiento de las condiciones ecológicas necesarias para el desarrollo de las actividades humanas;
- Soporte: procesos que permiten la existencia de condiciones apropiadas para el desarrollo de poblaciones de especies de fauna y flora;
- Provisión: procesos que permiten producir o acumular recursos naturales.

Tabla 1. Funciones ecosistémicas analizadas

---

**Funciones ecosistémicas: los procesos y componentes biológicos, geoquímicos y físicos que tienen lugar en un ecosistema**

---

***Regulación***

---

Regulación de clima

Regulación hídrica

Formación de suelo

Retención de nutrientes y dilución de contaminantes

Control biológico

---

***Soporte***

---

Hábitats de soporte para especies silvestres
<b>Provisión</b>
Provisión de alimentos
Provisión de materia prima
Provisión de agua
Provisión de recursos genéticos

Se incluyeron servicios correspondientes a dos grandes clases:

- Provisión: productos obtenidos de los ecosistemas (bienes);
- Regulación: beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos (servicios).

Tabla 2. Servicios ecosistémicos analizados

<b><i>Servicios de provisión: productos obtenidos de los ecosistemas</i></b>
Alimentos
Agua para consumo
Materiales para construcciones y fibras
Combustible
Recursos genéticos
<b><i>Servicios de regulación: beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos</i></b>
Clima habitable
Agua de buena calidad
Amortiguación de eventos extremos
Disminución de enfermedades y plagas

El Anexo I describe la definición de cada función y resume los criterios utilizados para asignar un puntaje a cada ecosistema según la magnitud relativa de los procesos que ocurren en esos ecosistemas. El Anexo II describe la definición de cada servicio y resume los criterios utilizados para asignar un puntaje a cada función dada su contribución relativa al suministro de cada servicio.

Este puntaje refleja una valoración relativa en una escala ordinal, no una valoración absoluta. Es decir, el valor se asigna en comparación con los demás ecosistemas y funciones considerados y no corresponde a una magnitud medible. Para la valoración se utilizó una escala de valores de 0 a 5. Para el caso de las funciones se asignó un valor 0 a aquellos ecosistemas en los que la función ecosistémica considerada no tiene lugar (e.g., la formación de suelo en cuerpos de agua), o la magnitud de este proceso es despreciable (e.g., la provisión de alimentos en zonas urbanas), o de hecho la dinámica del ecosistema disminuye la capacidad del territorio de producir esa función (e.g., la retención de nutrientes y dilución de contaminantes en cultivos). Para el caso de los servicios se asignó un valor 0 a aquellas funciones que no contribuyen directamente a la provisión del servicio (e.g., la provisión de alimentos al mantenimiento de un clima habitable). En contraparte, el valor 5 se asignó a aquellos ecosistemas y funciones en los que la magnitud de la función o la contribución relativa a la provisión de un servicio era máxima en relación a los demás ecosistemas y funciones considerados. Dentro de cada función y servicio se intentó utilizar intervalos equivalentes para asignar los valores, de forma de que la diferencia entre, por ejemplo el aporte a un servicio ecosistémico de una función a la que se le asignó un valor 1 y

otra a la que se le asignó un valor 2, fuera similar a la diferencia entre el aporte de una función asignada con un valor 2 y otra con 3. Para la valoración se comparó la importancia relativa de la función y servicio que tiene lugar dentro de un parche de ecosistema o en el entorno inmediato de ese parche (i.e., parches adyacentes), considerando las demás condiciones idénticas.

Para la asignación de valores se realizaron tres rondas de análisis. En una primera ronda cuatro técnicos realizaron evaluaciones de forma individual, que fueron resumidas en una propuesta inicial. Esta propuesta inicial fue luego revisada y discutida en dos talleres en los que participaron un total de nueve especialistas con formación en agronomía, geografía, ecología y limnología. En estos talleres primero cada técnico revisó la propuesta inicial de forma independiente y luego se propusieron, discutieron y acordaron cambios. Estos cambios fueron introducidos en una versión final que fue luego distribuida entre los nueve técnicos para que revisaran de forma independiente e hicieran observaciones de ser necesario.

Como proxy para el mapeo de los ecosistemas de Uruguay se utilizó un mapa de ambientes de Uruguay elaborado por Brazeiro *et al.* (2012), que define unidades espaciales irregulares delineadas a escala 1:50.000. Este mapa representa un total de 114 ecosistemas naturales que presentan similar cobertura vegetal, suelo y topografía, y 5 antrópicos, en los que predominan diferentes procesos de modificación antrópica. Para identificar la contribución de cada ecosistema de Uruguay a las distintas funciones consideradas se agruparon los 119 ecosistemas en 23 categorías:

- Arbustal de relieve plano
- Arbustal y bosque de relieve serrano
- Bañado de depresiones
- Bañado de relieve plano
- Bosque de quebrada
- Bosque de relieve ondulado
- Bosque de relieve plano
- Bosque ripario de relieve plano
- Bosque y Matorral psamófilo
- Cuerpos de agua
- Cuerpos de agua lóticos
- Cultivo
- Cultivo de arroz
- Forestación
- Palmar de butiá
- Parque de relieve ondulado
- Parque de relieve plano
- Parque de relieve serrano
- Pradera de relieve ondulado
- Pradera de relieve plano
- Pradera y arbustal de relieve serrano
- Zonas suburbanas
- Zonas urbanas

Siguiendo a Maynard *et al.* (2010), para estimar la contribución relativa de cada ecosistema a cada servicio se realizó una multiplicación del vector correspondiente a las funciones de cada ecosistema por el vector correspondiente a las funciones de cada servicio. El resultado es simplemente un ranking de la contribución relativa de cada ecosistema a la provisión de cada servicio. No refleja la contribución absoluta de cada ecosistema en una escala lineal ni regular. A efectos de facilitar la representación gráfica de los resultados, para cada servicio el valor final obtenido para cada ecosistema se reescaló a un valor acotado entre 0 y 1 dividiendo el valor observado para cada ecosistema por el valor del ecosistema con el valor más alto. Los ecosistemas se agruparon en 6 categorías según el valor estandarizado calculado para cada uno y esas son las categorías que se utilizaron para el mapeo (Figura 1).

Finalmente, a efectos de evaluar similitudes en la contribución relativa de los ecosistemas a los diferentes servicios considerados, se realizaron correlaciones no paramétricas entre los valores obtenidos para las distintas funciones y ecosistemas para los diferentes servicios. A efectos de evaluar la robustez de los resultados ante potenciales errores o sesgos en la estimación de los valores asignados a cada ecosistema y función analizado, se realizaron análisis de sensibilidad, Para ellos se volvió a calcular el valor de cada ecosistema y función, modificando los valores de ambas tablas de la siguiente forma: análisis i) aumentando una unidad el valor a las funciones y servicios a los que se les había asignado un valor de 0 o 1; análisis ii) disminuyendo una unidad el valor a las funciones y servicios a los que se les había asignado un valor de 4 o 5; análisis iii) realizando simultáneamente los cambios indicados en i) y ii). Para comparar la contribución relativa de los diferentes ecosistemas a la provisión de servicios dados los diferentes escenarios analizados, se calculó la mediana de los aportes de cada ecosistema a todos los servicios.

#### 4. RESULTADOS

Para la mayoría de las funciones ecosistémicas analizadas no se observaron sinergias o compromisos significativos en su contribución a la provisión de los distintos servicios considerados (Tabla 3). Sólo se observaron sinergias entre i) el control biológico y la retención de nutrientes y dilución de contaminantes, ii) la provisión de alimentos y el control biológico y iii) la provisión de recursos genéticos, el control biológico y el hábitat para especies silvestres (Tabla 3).

Tabla 3. Sinergias y compromisos en la contribución de 10 funciones ecosistémicas a la provisión de nueve servicios ecosistémicos en Uruguay. La diagonal inferior indica los valores de la correlación (Rs) y la diagonal superior el p-valor de dichas correlaciones; se indican en gris las correlaciones significativas.

	Regulación de clima	Regulación hídrica	Formación de suelo	Retención de nutrientes y dilución de contaminantes	Control biológico	Hábitats de soporte para especies silvestres	Provisión de alimentos	Provisión de materia prima	Provisión de agua	Provisión de recursos genéticos
Regulación de clima		0.408	0.839	0.382	0.523	0.484	0.823	0.794	0.484	0.791
Regulación hídrica	0.353		0.133	0.733	0.249	0.194	0.706	0.107	0.144	0.113



Formación de suelo	-0.086	-0.584	0.876	0.753	0.095	0.221	0.655	0.093	0.202
Retención de nutrientes y dilución de efluentes	-0.348	-0.127	-0.064	0.021	0.984	0.231	0.754	0.211	0.296
Control biológico	-0.254	-0.434	0.124	<b>0.784</b>	0.270	0.076	0.595	0.450	0.026
Hábitats de soporte para especies silvestres	0.327	-0.593	<b>0.638</b>	0.037	0.462	0.310	0.869	0.214	0.056
Provisión de alimentos	0.116	-0.146	0.466	0.463	<b>0.649</b>	0.454	0.714	0.862	0.112
Provisión de materia prima	-0.066	-0.602	0.197	0.152	0.235	0.160	0.184	0.357	0.460
Provisión de agua	-0.300	0.560	-0.617	0.484	0.298	-0.530	0.064	-0.404	1
Provisión de recursos genéticos	-0.115	-0.605	0.480	0.404	<b>0.772</b>	<b>0.703</b>	0.596	0.323	-0.005

La Tabla 4 muestra en una escala ordinal los aportes relativos de cada grupo de ecosistemas a cada uno de los servicios ecosistémicos considerados. En general se observa una elevada correlación ( $p < 0.000001$ ,  $n = 23$ ), en la importancia asignada a los diferentes ecosistemas para los diferentes servicios considerados (Tabla 5), lo que sugiere que en general la importancia relativa de un ecosistema a la provisión de un servicio refleja la contribución de ese ecosistema a la provisión de los demás servicios considerados.

Tabla 4. Contribución relativa de 23 grupos de ecosistemas a la provisión de nueve servicios ecosistémicos en Uruguay.

Grupos de ecosistemas	Servicios de provisión					Servicios de regulación			
	Alimentos	Agua para consumo	Materiales para construcciones y fibras	Combustible	Recursos genéticos	Clima habitable	Agua de buena calidad	Amortiguación de eventos extremos	Disminución de enfermedades y plagas
Arbustal de relieve plano	0.798	0.746	0.833	0.814	0.836	0.838	0.753	0.794	0.772
Arbustal y bosque de relieve serrano	0.758	0.714	0.854	0.833	0.852	0.811	0.697	0.773	0.793
Bañado de depresiones	1.000	1.000	0.990	1.000	0.975	1.000	1.000	1.000	1.000
Bañado de relieve plano	1.000	1.000	0.990	1.000	0.975	1.000	1.000	1.000	1.000
Bosque de quebrada	0.944	0.857	0.990	0.990	0.992	0.973	0.899	0.948	0.959
Bosque de relieve ondulado	0.734	0.603	0.802	0.824	0.803	0.770	0.629	0.742	0.759
Bosque de relieve plano	0.863	0.794	0.917	0.922	0.877	0.905	0.775	0.866	0.828
Bosque ripario de relieve plano	0.960	0.857	1.000	1.000	1.000	0.973	0.944	0.959	0.986
Bosque y Matorral psamófilo	0.758	0.698	0.813	0.794	0.811	0.851	0.708	0.794	0.759
Cuerpos de agua	0.911	0.984	0.750	0.804	0.844	0.878	0.978	0.928	0.931
Cuerpos de agua lóticos	0.911	0.984	0.750	0.804	0.844	0.878	0.978	0.928	0.931
Cultivo	0.371	0.222	0.333	0.451	0.254	0.243	0.146	0.309	0.262
Cultivo de arroz	0.540	0.397	0.510	0.608	0.443	0.486	0.337	0.515	0.448

<b>Forestación</b>	0.234	0.222	0.479	0.471	0.230	0.338	0.202	0.299	0.262
<b>Palmar de butiá</b>	0.839	0.683	0.781	0.824	0.828	0.743	0.764	0.773	0.807
<b>Parque de relieve ondulado</b>	0.685	0.508	0.656	0.716	0.697	0.635	0.562	0.649	0.655
<b>Parque de relieve plano</b>	0.815	0.683	0.760	0.814	0.787	0.743	0.764	0.773	0.779
<b>Parque de relieve serrano</b>	0.774	0.667	0.729	0.775	0.787	0.716	0.663	0.732	0.745
<b>Pradera de relieve ondulado</b>	0.645	0.444	0.510	0.569	0.631	0.568	0.483	0.577	0.566
<b>Pradera de relieve plano</b>	0.766	0.603	0.604	0.647	0.738	0.649	0.674	0.680	0.710
<b>Pradera y arbustal de relieve serrano</b>	0.702	0.587	0.708	0.725	0.746	0.689	0.607	0.680	0.690
<b>Zonas suburbanas</b>	0.306	0.222	0.219	0.265	0.279	0.257	0.247	0.278	0.269
<b>Zonas urbanas</b>	0.032	0.079	0.021	0.020	0.025	0.027	0.056	0.031	0.034

Tabla 5. Similitud en la contribución relativa de 23 grupos de ecosistemas a la provisión de nueve servicios ecosistémicos en Uruguay.

	Alimentos	Agua para consumo	Materiales para construcciones y fibras	Combustible	Recursos genéticos	Clima habitable	Agua de buena calidad	Amortiguación de eventos extremos
<b>Agua para consumo</b>	0.958							
<b>Materiales para construcciones y fibras</b>	0.855	0.873						
<b>Combustible</b>	0.884	0.876	0.976					
<b>Recursos genéticos</b>	0.926	0.948	0.955	0.950				
<b>Clima habitable</b>	0.934	0.972	0.941	0.927	0.971			
<b>Agua de buena calidad</b>	0.980	0.981	0.842	0.866	0.920	0.948		
<b>Amortiguación de eventos extremos</b>	0.963	0.985	0.920	0.913	0.963	0.989	0.972	
<b>Disminución de enfermedades y plagas</b>	0.975	0.974	0.907	0.936	0.969	0.967	0.979	0.978

El análisis de sensibilidad (Tabla 6) permitió confirmar que estas conclusiones son robustas a sesgos o errores en la estimación de la contribución de los diferentes ecosistemas y funciones a dichos servicios.

Tabla 6. Contribución relativa de 23 grupos de ecosistemas a la provisión de nueve servicios ecosistémicos ante diferentes escenarios de error en la estimación de dicha contribución.

	Mediana valores originales	Mediana análisis sensibilidad i)	Mediana análisis sensibilidad ii)	Mediana análisis sensibilidad iii)
<b>Bañado de depresiones</b>	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Bañado de relieve plano</b>	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Bosque ripario de relieve plano</b>	0.973	0.989	0.965	0.968
<b>Bosque de quebrada</b>	0.959	0.967	0.939	0.943

<b>Cuerpos de agua</b>	0.911	0.927	0.848	0.874
<b>Cuerpos de agua lóaticos</b>	0.911	0.927	0.848	0.874
<b>Bosque de relieve plano</b>	0.866	0.867	0.847	0.851
<b>Arbustal de relieve plano</b>	0.798	0.824	0.767	0.797
<b>Bosque y Matorral psamófilo</b>	0.794	0.827	0.744	0.806
<b>Arbustal y bosque de relieve serrano</b>	0.793	0.849	0.778	0.851
<b>Palmar de butiá</b>	0.781	0.796	0.792	0.791
<b>Parque de relieve plano</b>	0.773	0.779	0.792	0.791
<b>Bosque de relieve ondulado</b>	0.759	0.801	0.778	0.829
<b>Parque de relieve serrano</b>	0.732	0.735	0.769	0.768
<b>Pradera y arbustal de relieve serrano</b>	0.690	0.722	0.717	0.746
<b>Pradera de relieve plano</b>	0.674	0.699	0.770	0.770
<b>Parque de relieve ondulado</b>	0.655	0.685	0.731	0.768
<b>Pradera de relieve ondulado</b>	0.568	0.602	0.673	0.709
<b>Cultivo de arroz</b>	0.486	0.570	0.587	0.674
<b>Zonas suburbanas</b>	0.265	0.455	0.327	0.552
<b>Forestación</b>	0.262	0.464	0.313	0.543
<b>Cultivo</b>	0.262	0.457	0.313	0.536
<b>Zonas urbanas</b>	0.031	0.268	0.038	0.314

La Figura 1 muestra la importancia relativa de los distintos sectores del país a la provisión de esos servicios, el Anexo III los valores asignados a cada grupo de ecosistemas por la importancia relativa de las funciones ecosistémicas que allí se dan, y el Anexo IV la contribución relativa de cada una de las funciones consideradas, a la provisión de los servicios ecosistémicos evaluados.

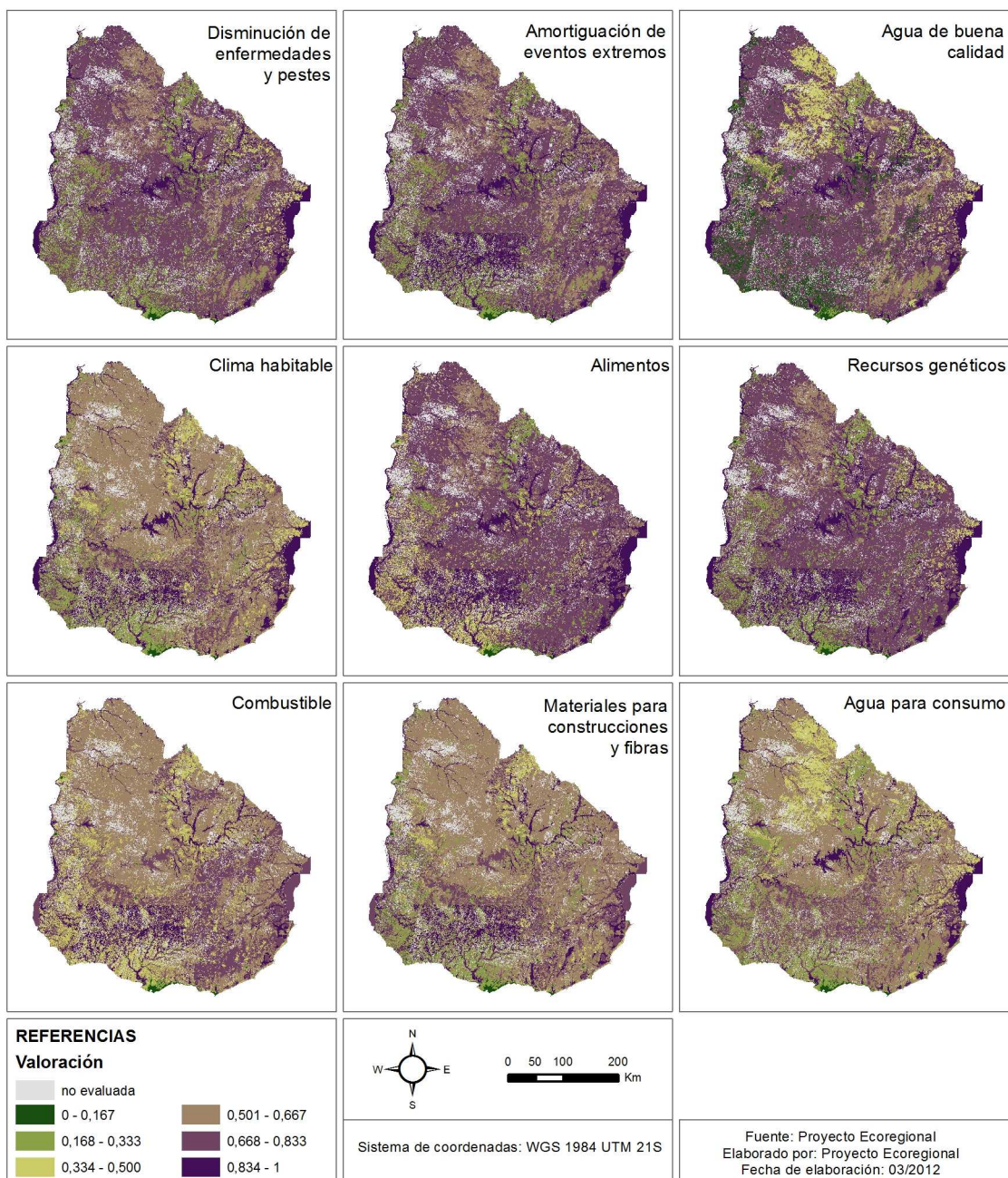


Figura 1. Contribución relativa a la provisión de nueve servicios ecosistémicos

## 5. DISCUSIÓN

Se evaluó la contribución relativa de 23 grupos de ecosistemas nativos y antrópicos a la producción de alimentos, recursos genéticos, agua, combustible, y materiales para construcciones y fibras, y al mantenimiento de un clima habitable, la calidad del agua, la amortiguación de eventos extremos y la disminución de enfermedades y plagas. Se observó que existe una fuerte correlación positiva en la contribución relativa de los diferentes ecosistemas a la provisión de todos los servicios considerados: hay ecosistemas que son sistemáticamente más importantes para el mantenimiento y producción de todos estos servicios, y otros que realizan sistemáticamente contribuciones menos relevantes.

En general se observó que los bosques húmedos y bañados son los ecosistemas que más contribuyen a la provisión de los servicios analizados, siendo las zonas urbanas y suburbanas y los cultivos (incluyendo forestación y arroz) los ecosistemas que realizan aportes menos significativos a la producción de dichos servicios. Esto último incluye servicios como alimentos y materiales y fibras, y probablemente responde a la consideración que se hace en este estudio a la integración de funciones que tienen lugar en diferentes ecosistemas y su rol en la producción de un servicio. Estos resultados son similares a los encontrados por estudios que evalúan el valor económico de diferentes ecosistemas (e.g., Costanza *et al.*, 1997; Troy & Bagstad, 2009).

A pesar de la similitud en la importancia relativa que se asigna a los mismos tipos de ecosistemas, existen diferencias importantes entre los análisis basados en la valoración económica de los servicios ecosistémicos y nuestro análisis. Mientras que las valoraciones económicas pretenden evaluar de forma simultánea la contribución de todos los servicios que brinda un ecosistema, nuestro análisis se centra en identificar el aporte que hace cada ecosistema a la provisión de un servicio ecosistémico. Para ello considera los múltiples procesos que tienen lugar en dicho ecosistema y su contribución relativa a la provisión del servicio en cuestión. Es decir, no sólo se evaluó la contribución directa de un ecosistema a una función de provisión como la producción de agua o alimentos (bienes), sino también el rol de funciones de regulación y mantenimiento en sostener las condiciones adecuadas para el desarrollo de dichas funciones de provisión.

La consideración de las funciones permite además evitar una valoración centrada en el sitio en el que se percibe el beneficio (servicio), y considerar la relación entre los sitios que sostienen los procesos que generan el servicio y los sitios en los que se recibe el beneficio (Fisher *et al.*, 2009), a la hora de evaluar la contribución de un ecosistema a un servicio. Esto tiene consecuencias no triviales a la hora de interpretar la importancia de ecosistemas como cultivos o zonas bajas que acumulan productos como alimentos y agua pero dependen fuertemente de procesos que ocurren en otros ecosistemas para ello.

Una limitación de nuestro análisis, común a todos los análisis de servicios ecosistémicos, es que sólo considera algunas funciones y servicios. Como toda valoración, la que aquí se presenta es específica para el propósito y escala de análisis para la cual fue formulada (Hein *et al.*, 2006). Debe por lo tanto tenerse precauciones a la hora de extrapolar las conclusiones de este estudio. Considerar otros servicios o funciones puede brindar una perspectiva diferente sobre la contribución relativa de cada ecosistema. A pesar de esto, los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la planificación territorial y el desarrollo de esquemas de producción agropecuarios sostenibles en el tiempo. En especial para el mantenimiento de paisajes funcionales, resilientes a cambios en el clima y los usos del suelo, y capaces de mantener el rango completo de servicios de los que depende el bienestar humano (Carpenter & Folke, 2006; de Groot, 2006; Müller *et al.*, 2010; Fahring *et al.*, 2011).

Un ordenamiento adecuado del territorio debería fomentar la persistencia de distintos ecosistemas en distintos sectores para asegurar el mantenimiento de las funciones que sostienen los servicios. Por ejemplo, nuestro análisis sugiere que el aumento en la superficie cubierta por cultivos podría estar de hecho afectando negativamente la capacidad del territorio del país de producir alimentos. Sostener la producción agrícola podría necesitar esquemas de ordenamiento que aseguren la integración de diferentes ecosistemas en el territorio, de forma de asegurar el mantenimiento de funciones de regulación y soporte esenciales para la producción de alimento (e.g., Sandhu *et al.*, 2012). Por ejemplo, un estudio reciente en Australia sugiere implementar planes de ordenamiento territorial que aseguren que un mínimo del 10% del territorio mantenga vegetación nativa manejada para maximizar la conservación de la biodiversidad y un mínimo adicional de 20% de vegetación natural manejada bajo formas de producción de baja intensidad, y asignen un máximo de un 30% del territorio a formas de producción intensiva y el resto del territorio a formas de producción moderadas (Smith *et al.*, 2012).

Esto resalta la necesidad de considerar los compromisos entre servicios (Bennett *et al.*, 2009; Viglizzo *et al.*, 2011) y el costo en términos de disminución de algunos servicios que resulta de manejar unos ecosistemas para maximizar la provisión de otros servicios. Algunos de los riesgos asociados a estos cambios incluyen la necesidad de compensar esas pérdidas con aumento de la inversión en tecnología y recursos económicos, con la consecuente disminución en el rédito económico. En un Uruguay en pleno proceso de expansión e intensificación agrícola (García-Préchac *et al.*, 2010), pero a su vez en pleno proceso de implementación de su Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (Ley 18.308), considerar la noción de servicios ecosistémicos a la hora de diseñar e implementar políticas de desarrollo puede tener un impacto muy positivo en asegurar el mantenimiento de las condiciones necesarias para el bienestar de los ciudadanos del país (e.g., Viglizzo *et al.*, 2011).

Finalmente, es importante puntualizar que este informe pretende simplemente ser una primera aproximación al abordaje de estas temáticas en Uruguay, así como una invitación a la discusión de estos conceptos y métodos, y al análisis de sus implicancias para la planificación del desarrollo del país. Para seguir avanzando es necesaria la revisión de las valoraciones realizadas por este equipo, y la consideración de otras funciones y servicios. Este análisis tiene la ventaja de que los criterios y las valoraciones son explícitos y por lo tanto son fácilmente objeto de revisión y modificación para incorporar mejoras en la comprensión de estos fenómenos y en la información disponible.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Bennett EM, Peterson GD & LJ Gordon. 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters* 12:1394–1404.
- Brazeiro A, Achkar M, Bartesaghi L, Ceroni M, Aldabe J, Carreira S, Duarte A, González E, Haretche F, Loureiro, M, Martínez JA, Maneyro R, Serra S & Zarucki M. 2012. Distribución potencial de especies de Uruguay: vertebrados y leñosas. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Vida Silvestre Uruguay/CIEDUR/SZU/Facultad de Ciencias. 47p.

- Carpenter SR & Folke C. 2006. Ecology for transformation. *TREE* 21(6): 309-315.
- Costanza R, d'Arge R, Groot RD, Farberparallel S, Grasso M, Hannon B, Limburgstar K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P & van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Costanza R. 2008. Ecosystem Services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation* 141:350-352
- De Groot RS, Wilson MA & Boumans RMJ. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393- 408.
- De Groot, R.S. 2006. Function analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multifunctional landscapes. *Landscape and urban Planning* 75: 175-186.
- Fahrig L, Baudry J, Brotons L, Burel FG, Crist TO, Fuller RJ, Sirami C, Gavin M, Siriwardena, GM & Martin J-L. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14: 100-111.
- Fisher B, Turner RK & Morling P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68: 643-653.
- García Préchac F, Ernst O, Arbeletche P, Bidegain MP, Pritsch C, Ferenczi A & Rivas M. 2010. Intensificación agrícola: Oportunidades y Amenazas para un país productivo y natural. CSIC. 128 p.
- Hein L, Van Koopen K, De Groot R & Van Ierland EC. 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 57: 209-228.
- Kremen C. 2005. Managing ecosystems services: What do we need to know about their ecology? *Ecological monographs* 75(1): 3-35.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. Washington, DC.
- Martín-López B, González JA, Díaz S, Castro I & García-Llorente M. 2007. Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas* 16(3).
- Maynard S, James D & Davidson A. 2010. The development of an ecosystem services framework for South East Queensland. *Environmental Management* 45: 881-95.
- Müller F, de Groot R & Willemen L. 2010. Ecosystem Services at the Landscape Scale: The Need for Integrative Approches. *Landscape Online* 23: 1-11.
- Sandhu HS, Crossmana ND & Smith FP. 2012. Ecosystem services and Australian agricultural enterprises. *Ecological Economics* 74:19–26.
- Smith FP, Prober SM, House APN & McIntyre S. 2012. Maximizing retention of native biodiversity in Australian agricultural landscapes - The 10:20:40:30 guidelines. *Agriculture, Ecosystems & Environment*: Online first.
- Troy A & Bagstad K. 2009. Estimation of Ecosystem Service Values for Southern Ontario Spatial Informatics Group. Pleasanton, CA.
- Viglizzo EF, Paruelo JM, Latorra P & Jobbágy EG. 2011. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*: Online first.
- Wallace KJ, 2007. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation* 139: 235–246.

## **ANEXO I. FUNCIONES ECOSISTÉMICAS**

Se indican los criterios utilizados para asignar un valor a la contribución de cada ecosistema al funcionamiento de los procesos indicados (a mayor capacidad del ecosistema, más elevado el puntaje asignado)

### ***Regulación: procesos que permiten el mantenimiento de las condiciones ecológicas necesarias para el desarrollo de las sociedades humanas***

- *Regulación de clima:* rol en la determinación de la humedad y temperatura del territorio que ocupan y su entorno inmediato (se evalúa en relación a las condiciones en ausencia de la cobertura vegetal de los ecosistemas en cuestión)
- *Regulación hídrica:* capacidad de retener el agua en los territorios que ocupan (se considera más relevante en las partes altas por su aporte al funcionamiento de la cuenca hidrográfica), resultado del balance entre los procesos de infiltración, escurrimiento y evaporación que ocurren en el territorio que el ecosistema ocupa
- *Formación de suelo:* capacidad de formación de suelo, resultado del balance entre los procesos de pérdida y generación de suelo que se dan en el territorio que el ecosistema ocupa; se considera también la capacidad de los ecosistemas de mantener la estructura original del suelo
- *Retención de nutrientes y dilución de contaminantes:* capacidad de diluir o retener los excesos de nutrientes y agroquímicos que el ecosistema recibe, disminuyendo así el aporte de estos productos a su entorno inmediato
- *Control biológico:* capacidad de limitar el crecimiento de poblaciones de organismos perjudiciales para el ser humano y la producción agropecuaria en el territorio que ocupa el ecosistema y su entorno

### ***Soporte: procesos que permiten la existencia de espacio apropiado para el desarrollo de especies de fauna y flora***

- *Hábitats de soporte para especies silvestres:* capacidad de mantener una alta diversidad de especies de flora y fauna nativa en el territorio que ocupan

### ***Provisión: procesos que permiten producir o acumular recursos naturales***

- *Provisión de alimentos:* capacidad de transformar materia orgánica en productos comestibles por el ser humano
- *Provisión de materia prima:* capacidad de transformar materia orgánica en fibras y turba
- *Provisión de agua:* capacidad de acumular agua accesible para el consumo humano y de los animales domésticos
- *Provisión de recursos genéticos:* capacidad de mantener una alta diversidad de material genético de uso real o potencial en aplicaciones médicas, farmacéuticas u otros usos productivos (se considera más relevantes los ecosistemas que pueden mantener una mayor diversidad de formas de vida y adaptaciones, no solo el número de especies)



## **ANEXO II. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Se indican los criterios utilizados para asignar un valor a la contribución de cada función a la provisión de los servicios indicados (cuanto más necesario es el proceso para la provisión del servicio, más elevado el puntaje asignado)

### ***Servicios de provisión: productos obtenidos de los ecosistemas (bienes)***

- *Alimentos*: procesos necesarios para generar las condiciones necesarias para la producción de alimentos
- *Agua para consumo*: procesos necesarios para asegurar el acceso permanente a agua que puede ser utilizada para el consumo humano
- *Materiales para construcciones y fibras*: procesos necesarios para generar las condiciones necesarias para la producción de fibras y materiales para construcciones
- *Combustible*: procesos necesarios para la producción de biomasa (madera y otros materiales combustibles no fósiles) que puede ser usada como fuente de energía
- *Recursos genéticos*: procesos necesarios para generar las condiciones necesarias para el mantenimiento de una alta diversidad de organismos nativos

### ***Servicios de regulación: beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos (servicios)***

- *Clima habitable*: procesos necesarios para mantener condiciones climáticas favorables para el desarrollo de las sociedades humanas
- *Agua de buena calidad*: procesos necesarios para mantener la calidad del agua accesible para el consumo humano
- *Amortiguación de eventos extremos*: procesos necesarios para evitar condiciones climáticas o hidrológicas (por exceso o deficiencia) que afectan negativamente la salud, las actividades productivas, y en general el desarrollo de las sociedades humanas
- *Disminución de enfermedades y plagas*: procesos necesarios para evitar la proliferación de enfermedades u organismos nocivos para la salud humana o perjudiciales para la sanidad agropecuaria

### ANEXO III. VALORACIÓN DE LOS APORTES RELATIVOS DE LOS ECOSISTEMAS CONSIDERADOS A LAS FUNCIONES ECOSISTÉMICAS EVALUADAS

La Tabla indica el valor relativo estimado de la magnitud de los procesos que tienen lugar en cada grupo de ecosistemas considerados: 0- la función no tiene lugar en el ecosistema (o es despreciable); 5- la magnitud de la función es máxima en relación a los demás ecosistemas considerados.

	<i>Regulación</i>	Regulación de clima	Regulación hídrica	Formación de suelo	Retención de nutrientes y dilución de efluentes	Control biológico	<i>Soporte</i>	Habitats de soporte para especies silvestres	<i>Provisión</i>	Provisión de alimentos	Provisión de materia prima	Provisión de agua	Provisión de recursos genéticos
Arbustal de relieve plano		4	4	5	3	4		4		1	2	2	4
Arbustal y bosque de relieve serrano		4	5	3	2	5		4		1	3	1	5
Bañado de depresiones		5	5	3	5	3		5		3	3	4	5
Bañado de relieve plano		5	5	3	5	3		5		3	3	4	5
Bosque de quebrada		5	5	4	4	5		5		2	3	2	5
Bosque de relieve ondulado		5	3	3	2	5		4		2	3	1	4
Bosque de relieve plano		5	4	5	3	4		4		2	3	2	4
Bosque ripario de relieve plano		5	5	4	5	5		5		2	3	2	5
Bosque y Matorral psamófilo		5	4	4	3	4		4		1	2	1	4
Cuerpos de agua		4	5	0	5	2		5		4	1	5	4
Cuerpos de agua lóticos		4	5	0	5	2		5		4	1	5	4
Cultivo		1	2	1	0	0		1		5	3	0	1
Cultivo de arroz		3	2	1	1	0		3		5	3	1	2
Forestación		3	1	0	1	0		2		1	5	0	1
Palmar de butiá		3	4	4	4	4		4		3	2	2	4
Parque de relieve ondulado		3	3	3	2	4		4		3	2	1	3
Parque de relieve plano		3	4	4	4	4		4		3	2	2	3
Parque de relieve serrano		3	4	3	2	4		4		3	2	2	4
Pradera de relieve ondulado		3	2	4	2	3		3		3	0	1	3

---

<b>Pradera de relieve plano</b>		3	3	4	4	3		3		3	0	2	4
<b>Pradera y arbustal de relieve serrano</b>		3	4	3	2	4		4		2	2	1	4
<b>Zonas suburbanas</b>		1	1	1	1	1		2		2	0	1	1
<b>Zonas urbanas</b>		0	0	0	0	0		0		0	0	1	0

---

## ANEXO IV. VALORACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS FUNCIONES CONSIDERADAS A LA PROVISIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EVALUADOS

La Tabla indica el valor relativo estimado de la contribución de cada uno de los procesos considerados, a la provisión de cada servicio analizado: 0- la función no contribuye a la provisión del servicio (o es despreciable); 5- la contribución relativa a la provisión de un servicio era máxima en relación a las demás funciones consideradas.

	<i>Servicios de provisión: productos obtenidos de los ecosistemas</i>					<i>Servicios de regulación: beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos</i>			
	Alimentos	Agua para consumo	Materiales para construcciones y ..	Combustible	Recursos genéticos	Clima habitable	Agua de buena calidad	Amortiguación de eventos extremos	Disminución de enfermedades y plagas
<b>Regulación</b>									
Regulación de clima	3	3	3	3	3	5	2	5	4
Regulación hídrica	4	5	3	3	3	4	4	5	4
Formación de suelo	4	1	3	3	3	2	1	2	1
Retención de nutrientes y dilución de efluentes	2	0	1	1	1	0	4	1	4
Control biológico	2	0	1	2	4	0	2	1	5
<b>Soporte</b>									
Habitats de soporte para especies silvestres	3	0	3	3	4	3	2	3	3
<b>Provisión</b>									
Provisión de alimentos	5	0	0	3	2	0	0	2	3
Provisión de materia prima	0	0	5	5	0	0	0	0	1
Provisión de agua	4	5	2	2	3	2	5	3	5
Provisión de recursos genéticos	3	0	2	1	5	0	0	0	4