

Biodiversidad y servicios ecosistémicos en pastos: distribución y respuesta al cambio global

Biodiversity and ecosystem services in grasslands and rangelands: distribution and response to global change

M.T. SEBASTIÀ^{1,2} / R. LLURBA^{1,2} / F. GOURIVEAU¹ / X. DE LAMO¹ / A. RIBAS^{1,3} / N. ALTIMIR¹

¹ECOFUN. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ctra. Sant Llorenç km 2. 25280 Solsona (España). teresa.sebastia@cfc.cat.

²Dept. HBJ. ETSEA. Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191. 25198 Lleida (España).

³BABVE, Universitat Autònoma of Barcelona

Resumen: Debido a su posición geográfica y a su orografía compleja, los pastos en el Mediterráneo presentan una elevada diversidad vegetal a escala regional, de paisaje y de comunidad. Estos ecosistemas pueden presentar elementos de tres regiones biogeográficas diferenciadas: irano-turanianos en las zonas más áridas, propiamente mediterráneos, y euroasiáticos en las zonas más frescas. Por otro lado, estas comunidades suministran una gran cantidad de bienes y servicios ecosistémicos, algunos de los cuales se han revalorizado recientemente gracias a la ganadería ecológica y los usos cinegéticos. Otro servicio ecosistémico muy relevante de los pastos se relaciona la capacidad de mitigación del cambio climático. La cantidad de carbono acumulado en suelos de pastos del Mediterráneo es muy significativo y hay que establecer medidas para conservarlo e incrementarlo. Estudios de flujos de carbono en el ecosistema revelan la gran dependencia climática de los procesos de sumidero. Finalmente, diversos estudios revelan la dependencia de los bienes y servicios ecosistémicos de la biodiversidad, y la vulnerabilidad de ambos frente al cambio climático. Las respuestas documentadas incluyen: disminución de especies, variaciones en proporción de grupos funcionales, cambios en la productividad del pasto, disminución de la calidad forrajera y disminución de la respiración del suelo.

Palabras clave: mitigación del cambio climático, cambio de uso del suelo, carbono edáfico, emisiones de gases invernadero, ganadería extensiva.

Summary: Grasslands and rangelands in the Mediterranean are highly heterogeneous at regional, landscape and community scales because of the geographical position and the complex topography of this region. These ecosystems can present elements from three distinct biogeographical regions: Irano-Turanian in the most arid zones, Mediterranean, and Euro-Asiatic in the fresher areas. On the other hand, those grasslands provide a significant amount of ecosystem services, some of which have acquired added value recently thanks to organic farming and hunting. Another relevant ecosystem service they provide is related to the carbon cycle and climate change mitigation. Grasslands and rangelands in the Mediterranean store a significant amount of soil organic carbon and it is necessary to design measures to preserve it and increase it. Carbon flux studies in grassland ecosystems reveal the climatic dependence of sink processes. Finally, various studies reveal the dependency between biodiversity and ecosystem services, and suggest the high vulnerability of both to climate change. Documented responses include: decreases in plant species; shifts in plant functional types; shifts in forage productivity; decreases in forage quality; decrease of soil respiration.

Key words: climate change mitigation, land use change, soil organic carbon, greenhouse gas emission, grazing management

INTRODUCCIÓN

Debido a su localización geográfica a caballo entre Eurasia y África, y a su orografía compleja que comprende una gran cantidad de sistemas montañosos, la cuenca mediterránea es extraordinariamente diversa y recibe un gran número de influencias biogeográficas. En la región mediterránea existe una gran variedad de comunidades vegetales no cultivadas y generalmente sin arbolado que tienen en común la presencia de un estrato herbáceo más o menos desarrollado, y que a menudo están asociadas con el pastoreo por animales domésticos. El amplio espectro de climas

dentro de la cuenca mediterránea, ligado a su localización y topografía compleja, hace que estas comunidades presenten una gran heterogeneidad en cuanto a fisonomía y estructura. En efecto, los pastos en el Mediterráneo pueden variar desde prados densos totalmente dominados por plantas herbáceas hasta áreas de vegetación fragmentada donde los arbustos y las matas son acompañantes importantes. Incluso, en algunos casos pueden incluir bosques más o menos claros, o una asociación del estrato herbáceo con grandes árboles más o menos laxamente distribuidos, como sucede en las dehesas (Olea y San Miguel, 2006). De acuerdo con el Nomenclátor de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (Ferrer *et al.*, 1997), todas estas comunidades se incluirían genéricamente dentro de la denominación de pastos.

Los pastos del Mediterráneo pueden ser naturales, en zonas áridas de menos de 300 mm de precipitación (Blondel y Aronson, 1999), por encima del límite altitudinal del bosque, o incluso en ciertos tipos especiales de suelos; o bien estar asociados con procesos sucesionales, consecuencia de la degradación del bosque o del abandono de las tierras cultivadas. Sin embargo, debido a su uso frecuente por pastoreo, se suelen considerar más adecuadamente comunidades semi-naturales. Los pastos en el Mediterráneo se encuentran en la confluencia de dos mundos biogeográficos muy diversos: los pastos semi-naturales euroasiáticos (Rychnovská, 1993) y las estepas irano-turánicas (Allen, 2009). Junto con elementos específicamente mediterráneos, estos serían los orígenes principales de la biota de estos ecosistemas.

Los pastos mediterráneos típicos están formados por combinaciones dinámicas de gramíneas perennes de los géneros *Stipa* y *Brachypodium* mezcladas con especies herbáceas anuales (Blondel y Aronson, 1999). A medida que el clima se vuelve más árido, los pastos de gramíneas se enriquecen en matas y arbustos esteparios de los géneros *Artemisia*, *Ephedra* o *Pistacia* entre otros (Allen, 2009). Por el contrario, cuando la precipitación aumenta y la temperatura disminuye, por ejemplo en el Mediterráneo más septentrional, los pastos se van enriqueciendo en elementos eurosiberianos e incluso boreo-alpinos, particularmente a medida que aumenta la altitud (Allen, 2009).

Por todas estas razones, los pastos mediterráneos constituyen ecosistemas muy importantes desde el punto de vista del mantenimiento de la biodiversidad, a nivel regional, de paisaje e intra-comunidad. En este trabajo nos centramos particularmente en los pastos semi-naturales euroasiáticos presentes en el nordeste de la Península Ibérica, sobretodo en zonas de montaña. Los pastos frío-templados de Eurasia presentan una uniformidad considerable en sus funciones ecológicas a lo largo de una región geográfica muy amplia (Rychnovská, 1993). Este tipo de pasto ha sido estudiado intensivamente por nuestro grupo en el Pirineo a lo largo de varios años. Presentamos algunos factores de variación de su diversidad así como algunos bienes y servicios que estos ecosistemas proveen, particularmente en lo que se refiere a su capacidad de acumular carbono en el suelo, y por lo tanto de mitigación del cambio climático. También tratamos de proporcionar una visión más amplia incluyendo información propia y de la bibliografía sobre otros tipos de pastos de zonas mediterráneas más áridas. En particular, comparamos prados frío-templados, pastos mediterráneos y pastos de zonas

áridas en el contexto de los posibles efectos del cambio climático y de uso del suelo (de Bello *et al.*, 2007).

En la zona norte y altas montañas de la Península Ibérica, los pastos euroasiáticos están en el límite meridional de la distribución biogeográfica del bioma (Rychnovská, 1993). Las especies y los ecosistemas se consideran altamente vulnerables en el margen de su distribución frente al cambio climático y de usos del suelo (Sala *et al.*, 2000). El efecto del cambio climático sobre la vegetación podría ser más pronunciado en estas regiones de transición entre el clima meso-templado y el árido (Lavorel *et al.*, 1998). Se espera que los pastos mediterráneos sufran particularmente los efectos de este cambio (Sala *et al.*, 2000; Alkemade *et al.*, 2011), y se necesitan estrategias para gestionar de manera sostenible estos recursos escasos, así como los bienes y servicios que los pastos proporcionan (Fleisher y Sternberg, 2006). La conservación de la biodiversidad y de los bienes y servicios asociados a estos ecosistemas debería ser prioritaria, pero para ello deberían conocerse mejor sus interacciones. Este es el objetivo de esta revisión, que en cualquier caso no pretende ser exhaustiva.

LA DIVERSIDAD DE LOS PASTOS Y SU DISTRIBUCIÓN

El análisis del atlas digitalizado de la flora europea (*Atlas Florae Europaeae*; Lahti y Lampinen, 1999) pone de manifiesto la diversidad florística de las montañas del sur de Europa, y en general de la región mediterránea (Finnie *et al.*, 2007). Por otra parte, los pastos semi-naturales euroasiáticos se consideran entre los ecosistemas más diversos de Europa, particularmente aquellos que se desarrollan sobre substrato calizo (Pärtel *et al.*, 2005). Esto se ha relacionado en parte con factores biogeográficos que se remontan al momento geológico interglaciar seco en que se expanden las comunidades herbáceas en la región (Bredenkamp *et al.*, 2002), predominantemente dominada por rocas calizas en esa época (Pärtel *et al.*, 2005). La acción de los animales pastantes, salvajes primero y después domésticos, a veces incluso la misma especie domesticada, ha contribuido también sin duda al mantenimiento y diversificación de los pastos europeos (Pärtel *et al.*, 2005; de Bello *et al.*, 2006). Por tanto, los pastos euroasiáticos constituyen ecosistemas con una elevada productividad que proporcionan alimento renovable y de bajo coste para los animales pastantes, y que incluyen una biodiversidad muy elevada, mantenida por las poblaciones locales a través de la gestión extensiva a largo plazo.

Los pastos de las montañas de la región mediterránea septentrional comparten muchas similitudes en cuanto a flora, vegetación y ecología con pastos de otras zonas frío-templadas europeas (Canals & Sebastià, 2000a; Sebastià, 2004). En la Península Ibérica, los pastos frío-templados se encuentran muy frecuentemente distribuidos en zonas orográfica y topográficamente complejas. Los factores abióticos constituyen un primer filtro en la distribución de estas comunidades (Sebastià, 2004). En particular, Sebastià (2004) encontró una fuerte diferenciación entre la vegetación de pastos méxicos y de pastos xéricos coexistentes en el paisaje, ligada a la microtopografía; esta a su vez afectaba a las propiedades microclimáticas y edáficas (tabla 1).

naughay y Bazzaz, 1991) susceptible de ser ocupado por plantas colonizadoras poco competitivas (descrito para la mayoría de perturbaciones de pastos pirenaicos; Canals y Sebastià, 2004); incremento en la disponibilidad de nutrientes fácilmente asimilables que pueden ser utilizados por especies no micorrízicas (descrito en toperas; Canals y Sebastià, 2000b); facilitación de la germinación de semillas enterradas en profundidad (descrito en excavaciones de jabalí; Bueno *et al.*, 2011); existencia de interacciones inter-específicas, de refugio o tróficas (descrito en hormigueros en Canals y Sebastià, 2002; y en Sebastià y Puig, 2008). También se ha reconocido que estas perturbaciones deben afectar una superficie de cierto tamaño crítico mínimo para mantener el papel promotor de la biodiversidad; en caso contrario, las propias plantas circundantes cierran la cicatriz dejada en un plazo de tiempo bastante corto (descrito en madrigueras de topillos; Sebastià y Puig, 2008).

LOS BIENES Y SERVICIOS DE LOS PASTOS

Los pastos presentan gran relevancia ecológica porque protegen suelos a menudo frágiles, acumulan carbono en el suelo, proporcionan hábitat para la flora y fauna salvajes, y contribuyen a la regulación hídrica de amplios sistemas fluviales. En consecuencia, ambientalmente los pastos proporcionan diversidad biológica y funciones ecosistémicas (Gómez-García *et al.*, 2009). Entre los bienes y servicios que estos ecosistemas proporcionan se pueden citar: producción de alimento (forraje de siega y diente), materiales (combustible, fibra, corcho), servicios biogeoquímicos (regulación del ciclo del agua, conservación de la fertilidad del suelo, sumideros de carbono), recursos genéticos (germoplasma de plantas forrajeras y de cultivo, plantas medicinales), valor estético y uso recreativo, refugio y conservación de la naturaleza, incluyendo gestión de la fauna (Costanza *et al.*, 1997; Marnette 2002; Fleischer y Sternberg, 2006; Lund, 2007; Sebastià *et al.*, 2008b).

Por otro lado, los pastos son también muy relevantes económica y socialmente porque constituyen el recurso alimentario principal en los sistemas ganaderos tradicionales en muchas zonas del mundo, incluyendo el Mediterráneo, y ofrecen por tanto un medio de vida a millones de personas (Lund, 2007) y también un sistema de valores (Caballero, 2007). Actualmente, los sistemas de pastos extensivos están experimentando un incremento económico asociado con la ganadería ecológica incluso en los países mediterráneos relativamente ricos, aunque en esos países en general se desarrollen en las zonas marginales. Por ejemplo, en Cataluña la superficie de pastos reconocidos como ecológicos incrementó de 2.727 a 49.639 ha entre 2000 y 2010 (CCPAE, 1995-2010; fig. 2), demostrando un reconocimiento creciente por este tipo de gestión y sus beneficios ambientales. Aún así, la producción ecológica total, incluyendo los pastos, solamente representa entre el 2,2 y el 5% de la superficie agrícola útil total catalana. Por otra parte, en los últimos años se pueden llegar a producir ingresos importantes gracias al interés de los pastos como áreas de caza (San Miguel, 2005, Sebastià *et al.*, 2008b). En conjunto, los pastos son vitales para las poblaciones

de las zonas marginales, pero los bienes y servicios que proporcionan a menudo se aprovechan más allá de su zona geográfica original. La introducción de nuevos usos, o la revalorización de los usos tradicionales, pueden ayudar al mantenimiento del valor socio-económico de los pastos.

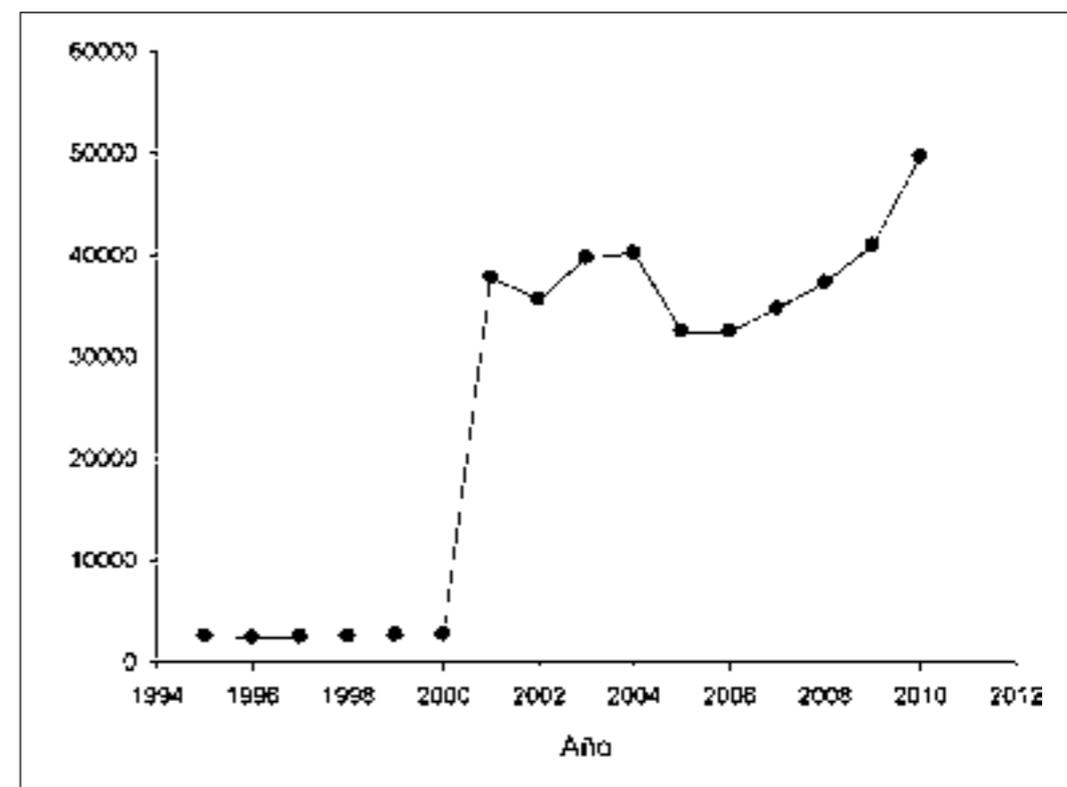


Figura 2. Evolución de la superficie (en ha.) ocupada por prados, pastos y forrajes ecológicos en Cataluña. Fuente: CCPAE, 1995-2010.

EL CARBONO DE LOS PASTOS EN LA PRODUCCIÓN Y LA MITIGACIÓN

La materia orgánica del suelo tiene una importante función en los ecosistemas como reservorio de fertilidad, y también desde el punto de vista del cambio climático, por su función de mitigación (Evans *et al.*, 2009), debido al gran tamaño y en general larga residencia del carbono orgánico en el suelo. Existe un consenso creciente entre la comunidad científica que estudia el cambio climático sobre la importancia de los pastos como sumideros potenciales de carbono (Soussana *et al.*, 2007; Cernusca *et al.*, 2008). Los pastos actúan predominantemente como sumideros de CO₂ atmosférico y pueden secuestrar carbono en el suelo de manera efectiva (Soussana *et al.* 2007; 2010; Schultze *et al.*, 2009). La respuesta de los pastos sin embargo puede depender del tipo de gestión que se lleve a cabo. Por ello, además del posible papel como sumideros, es

muy importante mantener un tipo de gestión que conserve el carbono orgánico que ya existe en el suelo de los pastos. Además, el balance final de su papel en la mitigación dependerá también de la dinámica de otros gases de efecto invernadero relevantes en los pastos, como el metano y el óxido nitroso (Hopkins y del Prado, 2007; Schulze *et al.*, 2010).

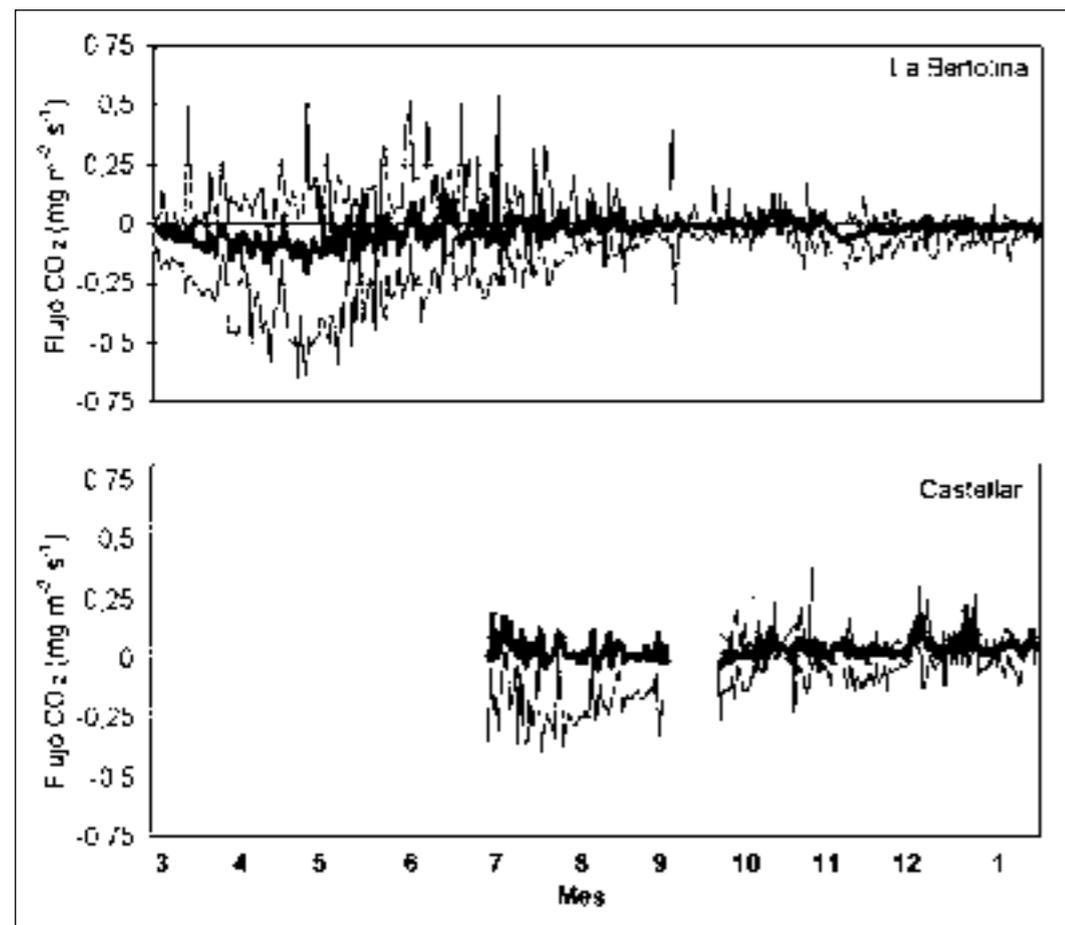


Figura 3. Evolución temporal del flujo de CO₂ a nivel de ecosistema en dos pastos de montaña del Pirineo, a lo largo de un gradiente altitudinal y climático: La Bertolina (montano) y Castellar (subalpino). Los valores negativos denotan captación y los positivos, emisión de CO₂. Datos preliminares medidos con la técnica micro-meteorológica de detección de flujos turbulentos. Se muestran valores diarios medios (línea negra gruesa), mínimos diarios (línea gris inferior) y máximos nocturnos (línea gris superior). Fuente: Altimir *et al.*, inédito.

Estudios desarrollados en pastos de la región mediterránea están básicamente de acuerdo con este diagnóstico. Los contenidos de carbono orgánico en el suelo (SOCS) encontrados en los primeros 30 cm del suelo se ha estimado que eran en promedio de unos 70 Mg C ha⁻¹ en pastos mediterráneos, según una regresión basada en datos de diversos estudios de la bibliografía (Rodeghiero *et al.*, 2011; Sebastià *et al.*, inédito).

Este valor es similar a los 73 Mg C ha⁻¹ encontrados por Rodríguez-Murillo (2001) en suelos de pastos españoles, y superior a los 60 Mg C ha⁻¹ encontrados por Miralles *et al.* (2009) en pastos secos del sudeste español, donde los suelos típicos podrían no alcanzar los 30 cm. Resultados comparativos indican que los pastos de carácter euro-asiático del Mediterráneo acumularían más carbono que los de clima mediterráneo o los áridos (García-Pausas *et al.*, 2007; Bossi *et al.*, en preparación).

Además del estudio del contenido de carbono en el suelo, en años recientes se ha llevado a cabo un gran esfuerzo para elucidar el balance del carbono en los ecosistemas. Una de las herramientas que se han utilizado para obtener valores globales ha sido la del estudio de los flujos de carbono a nivel del ecosistema mediante la técnica de las torres de medida de flujos turbulentos (*eddy-covariance*). El análisis de los flujos de carbono en un pasto mediterráneo con plantas C3 y C4 mediante esta técnica reveló que en conjunto el pasto actuaba como un sumidero de carbono, y que se producía una compensación entre los años secos, en que el pasto se comportaba como una fuente, y los húmedos, en que se comportaba como un fuerte sumidero (Aires *et al.*, 2008).

En el Pirineo oriental se han instalado tres torres de flujos turbulentos en pastos a lo largo de gradientes altitudinales climáticos, gracias al proyecto FLUXPYR (INTERREG IV-A / POCTEFA). Uno de ellos se siembra en rotación con cereal y leguminosa, y dos son semi-naturales, uno montano sobre un campo abandonado hace más de 15 años y otro subalpino utilizado como pasto desde hace siglos. La comparación de datos preliminares brutos de estos dos últimos pastos ilustra las tendencias arriba comentadas. Ambos presentan un balance diario de CO₂ muy próximo a cero, y las perturbaciones o extremos climáticos pueden hacer decantar el balance hacia un lado u otro, como se observa en la recuperación en La Bertolina en noviembre, tras un período de lluvias (fig. 3). También se observa que en el pasto subalpino de Castellar hay una actividad más intensa por unidad de superficie en comparación con el pasto montano de La Bertolina, tanto de día como de noche, lo cual era esperable puesto que en Castellar hay más biomasa activa durante el periodo de desarrollo vegetal estival y condiciones menos limitantes, particularmente en cuanto a menor riesgo de sequía (fig. 3).

LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La biodiversidad puede considerarse, por un lado, como un servicio proporcionado por los ecosistemas, y por otro como un agente generador de servicios ecosistémicos, por su papel en la estabilización del funcionamiento de los ecosistemas y el consecuente aprovisionamiento de bienes y servicios. El incremento de diversidad en pastos se traduce en un incremento de la productividad (Hooper *et al.*, 2005; Kirwan *et al.*, 2007) y de la resistencia a la invasibilidad (Kirwan *et al.*, 2007). Este hecho podría tener relevancia de cara a la función de mitigación al conllevar un incremento del secuestro de C, aunque éste dependerá del balance final entre el C asimilado y las pérdidas por respiración (Macdonald *et al.*, 2011). Fornara & Tilman (2008) en-

cuentran un incremento de C y N totales en el suelo como respuesta a la diversidad, y la misma tendencia aparece en los resultados preliminares en pastos del Pirineo, en que la diversidad parece incrementar el contenido de C en el suelo (Sebastià *et al.*, en preparación).

RESPUESTA DE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS PASTOS FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

Los pastos, el sur de Europa y la zona mediterránea se han identificado como puntos particularmente vulnerables al cambio climático (Sala *et al.*, 2000, Alkemade *et al.*, 2011). Sin embargo, algunos modelos revelan que la microtopografía compleja de las zonas montañosas podría favorecer la existencia de refugios para la biodiversidad, incluyendo especies de plantas (Engler *et al.*, 2011) y de mariposas (Picó y van Groenendael, 2007).

La diversidad puede incrementar la adaptabilidad de los sistemas pastorales al cambio climático, por el efecto portafolio o la hipótesis del seguro, según la cual, una mayor diversidad puede incrementar la probabilidad de que haya una especie resistente a las condiciones climáticas cambiantes (Loreau *et al.*, 2001), o a factores de estrés bióticos relacionados con éstas. De esta manera, se incrementaría la estabilidad ecosistémica frente a perturbaciones (Proulx *et al.*, 2010) y las posibilidades de adaptación del ecosistema al cambio climático. Recíprocamente, la pérdida de biodiversidad con el cambio climático y de uso del suelo puede conducir a una desestabilización en el aprovisionamiento de los bienes y servicios de los pastos. Las consecuencias pueden cuantificarse en términos ecológicos, pero también económicos (Fleischer y Sternberg, 2006).

Diversos estudios muestran la respuesta de los pastos del Mediterráneo utilizando diversas metodologías: gradientes climáticos a menudo aprovechando gradientes altitudinales (de Bello *et al.*, 2005; 2006; 2007; 2009); manipulaciones de precipitación y/o temperatura en el campo (Miranda *et al.*, 2009; Talmon *et al.*, 2010); y experimentos de trasplante entre zonas climáticas diferentes (Sebastià, 2007; Sebastià *et al.*, 2008c). Estos estudios revelan una disminución de la biodiversidad (Sebastià *et al.*, 2008c; Miranda *et al.*, 2009), cambios significativos en la composición de especies de plantas (Sebastià *et al.*, 2008c), y también en la proporción de los grupos funcionales (Sebastià, 2007; Talmon *et al.*, 2010) con factores de cambio climático, básicamente aumento de temperatura y disminución de precipitación. Entre las consecuencias de estos cambios sobre las funciones ecosistémicas se han citado: reducción de la productividad en pastos de las zonas más secas (Miranda *et al.*, 2009); aumento de la productividad asociado a una disminución de la calidad del pasto como consecuencia de la sustitución de forrajeras apetecibles por plantas poco palatables (Sebastià, 2007); una disminución de la respiración del suelo, más acusada cuanto más árida es la zona y menor es la proporción de arbustos (Talmon *et al.*, 2010; Matías *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

En conclusión, debido a su interés recreativo y a su uso como forraje, los pastos mediterráneos son muy relevantes ecológica y socio-económicamente en los lugares en los que se desarrollan; pero los bienes y servicios que proporcionan, incluyendo la capacidad de almacenar carbono orgánico en el suelo, repercuten más allá de su zona de origen. Entre la variedad de bienes y servicios ecosistémicos que proporcionan, además de forraje para el ganado, se encuentran aprovisionamiento de agua, sumideros de carbono y por tanto regulación del clima, y conservación de la fertilidad y del suelo. Estos ecosistemas son un almacén de biodiversidad y un compendio de funciones ecológicas. La ganadería extensiva constituye una herramienta de gestión poderosa que puede y debe utilizarse en el mantenimiento de la diversidad biológica y de bienes y servicios de los pastos.

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes agencias e instituciones: la Unión Europea a través de sus programas INTERREG III-A (proyecto I3A-4-147-E), INTERREG IV-A (proyecto FLUXPYR), FP6/2002-2006 (proyecto CARBOMONT) y FP7/2007-2013 (proyectos CarboEurope, y CAPACITI, convenio MC nº 275855 a NA); FECYT (proyectos CARBOPAS, CARBOAGROPAS, OBAMA, CAPAS); INIA (proyecto CARBOCLUS), Ministerio de Medio Ambiente (proyectos D-SPRING y OPS); la CTP (Programa POCTEFA); y distintas agencias de la Generalitat de Catalunya. Ideas desarrolladas en esta revisión se han beneficiado de las acciones integradas COST 639 y COST 852 de la UE; y de la preparación de diversas ponencias invitadas, a cuyos comités organizadores queremos agradecer su confianza, particularmente al de la 51ª Reunión Científica de la SEEP 2012.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES L.M., PIO C.A. Y PEREIRA J.S. (2008) The effect of drought on energy and water vapour exchange above a mediterranean C3/C4 grassland in Southern Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, **148**, 565-579.
- ALADOS C.L., EL AICH A., PAPANASTASIS V.P., OZBEK H., NAVARRO T., FREITAS H., VRAHNAKIS M., LARROSI D. Y CABEZUDO B. (2004) Changes in plant spatial patterns and diversity along successional gradients on Mediterranean grazing ecosystems. *Ecological Modelling*, **180**, 523-535.
- ALDEZABAL A., GARCÍA-GONZÁLEZ R., GÓMEZ-GARCÍA D. Y FILLAT F. (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Ecosistemas*, 2002/3 (URL: www.aeet.org/ecosistemas/investigacion6.htm)
- ALKEMADE R., BAKKENES M. Y EICKHOUT B. (2011) Towards a general relationship between climate change and biodiversity: an example for plant species in Europe. *Regional Environmental Change*, **11**, 143-150.

- ALLEN H. (2009) Vegetation and ecosystem dynamics. En: J.C. Woodward (ed) *The Physical Geography of the Mediterranean*, 203-227, Oxford University Press.
- BLONDEL J. Y ARONSON J. (1999) *Biology and Wildlife of the Mediterranean Region*. Oxford University Press.
- BREDENKAMP G.J., SPADA F. Y KAZMIERCZAK E. (2002) On the origin of northern and southern hemisphere grasslands, *Plant Ecology*, **163**, 209-229.
- BUENO C.G., REINÉ R., ALADOS C.L. Y GÓMEZ-GARCÍA D. (2011) Effects of large wild boar disturbances on alpine soil seed banks. *Basic and Applied Ecology*, **12**, 125-133.
- CABALLERO R. (2007) High Nature Value (HNV) grazing systems in Europe: a link between biodiversity and farm economics. *The Open Agriculture Journal*, **1**, 11-19.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. 2000a. Analyzing mechanisms regulating diversity in rangelands through comparative studies: a case in Southwestern Pyrenees. *Biodiversity and Conservation*, **9**, 965-984.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. 2000b. Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills. *Journal of Vegetation Science*, **11**, 23-30.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. (2002) Heathland dynamics in biotically disturbed areas: on the role of some features enhancing heath success. *Acta Oecologica*, **23**, 303-312.
- CANALS R.M. Y SEBASTIÀ M.T. (2004) Papel de las perturbaciones de pequeños mamíferos en pastos de montaña. *Pastos*, **34**, 47-60.
- CERNUSCA A., BAHN M., BERNINGER F., TAPPEINER U. Y WOHLFAHRT G. (2008) Effects of Land-Use Changes on Sources, Sinks and Fluxes of Carbon in European Mountain Grasslands. *Ecosystems*, **11**, 1335-1337.
- CINGOLANI A.M., CABIDO M.R., RENISON D. Y SOLÍS NEFFA V. (2003) Combined effects of environment and grazing on vegetation structure in Argentine granite grasslands. *Journal of Vegetation Science*, **14**, 223-232.
- COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R., PARUELO J., RASKIN R., SUTTON P. Y VAN DEN BELT M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.
- CCPAE (1995-2010). *Estadístiques 1995-2010*. Consell Català de la Producció Agrària Ecològica. Dep. Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2005) Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean, *Journal of Applied Ecology*, **42**, 824-833.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2006) Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. *Ecography*, **29**, 801-810.
- DE BELLO F., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2007) Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain. *Journal of Vegetation Science*, **18**, 25-34.
- DE BELLO F., BUCHMANN N., CASALS P., LEPS J. Y SEBASTIÀ M. T. (2009) Relating plant species and functional diversity to community delta C-13 in NE Spain pastures. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **131**, 303-307.
- ENGLER R., RANDIN C., THUILLER W., DULLINGER S., ZIMMERMANN N.E., ARAUJO M.B., PEARMAN P.B., ALBERT C.H., CHOLER P., DE LAMO X., DIRNBÖCK T., GÓMEZ-GARCÍA D., GRYTNES J.A., HEEGARD E., HØISTAD F., LE LAY G., NOGUES-BRAVO D., NORMAND S., PIÉDALU C., PUSCAS M., SEBASTIÀ M.T., STANISCI A., THEURILLAT J.P., TRIVEDI M., VITTOZ P. Y GUISAN A. (2011) 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology*, **17**, 2330-2341.
- FERRER C., SAN MIGUEL A. Y OCAÑA M. (1997) Propuesta para un nomenclátor definitivo de pastos en España. *Pastos*, **27**, 125-161.
- FINNIE T.J.R., PRESTON C.D., HILL M.O., UOTILA P. Y CRAWLEY M.J. (2007) Floristic elements in European vascular plants: an analysis based on *Atlas Florae Europaeae*. *Journal of Biogeography*, **34**, 1848-1872.
- FLEISCHER A. Y STERNBERG M. (2006). The Economic Impact of Global Climate Change on Mediterranean Rangeland Ecosystems: A Space-for-Time Approach. *Ecological Economics*, **59**, 287-29.
- FORNARA D.A. Y TILMAN D. (2008) Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. *Journal of Ecology*, **96**, 314-322.
- GARCÍA-PAUSAS J., CASALS P., CAMARERO L., HUGUET C., SEBASTIÀ M.T., THOMPSON, R. Y ROMANYÁ J. (2007) Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. *Biogeochemistry*, **82**, 279-289.
- GÓMEZ-GARCÍA D., GARCÍA-GONZÁLEZ R. Y FILLAT F. (2009) Multifuncionalidad de los pastos herbáceos de montaña: hacia una interpretación multidisciplinar de los sistemas pastorales del Pirineo aragonés. En: Reiné R., Barrantes O., Broca A., Ferrer C. (eds.) *La multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de ecosistemas*, pp. 15-41. Huesca, España: SEEP.
- HOPKINS A. Y DEL PRADO A. (2007) Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science*, **62**, 118-126.
- KIRWAN L., LÜSCHER A., SEBASTIA M.T., FINN J.A., COLLINS R.P., PORQUEDDU C., HELGADOTTIR A., BAADSHAUG O.H., BROPHY C., CORAN C., DALMANNSDÓTTIR S., DELGADO I., ELGERSMA A., FOTHERGILL M., FRANKOW-LINDBERG B.E., GOLINSKI P., GRIEU P., GUSTAVSSON A.M., HÖGLIND M., HUGUENIN-ELIE O., ILIADIS C., JØRGENSEN M., KADZIULIENE Z., KARYOTIS T., LUNNAN T., MALENGIER M., MALTONI S., MEYER V., NYFELER D., NYKANEN-KURKI P., PARENTE J., SMITH J., THUMM U. Y CONNOLLY J. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in an intensive grassland system across 28 European sites. *Journal of Ecology*, **95**, 530-539.
- LAHTI T. Y LAMPINEN R. (1999) From dotmaps to bitmaps: *Atlas Florae Europaeae* goes digital. *Acta Bot. Fenn.*, **162**, 5-9.
- LAVOREL S., CANADELL J., RAMBAL S. Y TERRADAS J. (1998) Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7**, 157-166.
- LOREAU M., NAEEM S., INCHAUSTI P., BENGTTSSON J., GRIME J.P., HECTOR A., HOOPER D.U., HUSTON M.A., RAFFAELLI D., SCHMID B., TILMAN D. Y WARDLE D.A. (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, **294**, 804-808.
- LUND H.G. (2007). Accounting for the World's Rangelands. *Rangelands*, **29**, 3-10. doi: 10.2111/1551-501X (2007)29[3:AFTWR]2.0.CO;2
- MANNETJE L. (2002) *Global issues of rangeland management*. Available at: <http://www.date.hu/acta-agraria/2002-08i/mannetje.pdf>. Accessed 12 October 2010.
- MARKS E., AFLAKPUI G.K.S., NKEM J., POCH R.M., KHOUMA M., KOKOU K., SAGOE R. Y SEBASTIÀ M.T. (2009) Conservation of soil organic carbon, biodiversity and the provision of other ecosystem services along climatic gradients in West Africa. *Biogeosciences*, **6**, 1825-1838.
- MATÍAS L., CASTRO, J. Y ZAMORA R. (2012) Effect of simulated climate change on soil respiration in a Mediterranean-type ecosystem: rainfall and habitat type are more important than temperature or the soil carbon pool. *Ecosystems*, **15**, 299-310.
- MCCONNAUGHA K.D.M. Y BAZZAZ F.A. (1991) Is physical space a soil resource? *Ecology*, **72**, 94-103.

- MCGUIRE J.R. (1978) Rangelands. Fulfilling the promise through planning. En: Hyder, D.N. (Ed) *Proceedings of the first International Rangeland Congress*, Denver, Colorado, USA: Ed. Society for Range Management.
- MIRALLES I., ORTEGA R., ALMENDROS G., SÁNCHEZ-MARAÑÓN M. Y SORIANO M. (2009) Soil quality and organic carbon ratios in mountain agroecosystems of South-east Spain. *Geoderma*, **150**, 120-128.
- MIRANDA J., PADILLA F.M., LÁZARO R. Y PUGNAIRE F. (2009) Do changes in rainfall patterns affect semiarid annual plant communities? *Journal of Vegetation Science*, **20**, 269-276.
- OLEA L. Y SAN MIGUEL A. (2006) The Spanish dehesa: A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Grassland Science in Europe*, **11**, 3-13.
- PÄRTEL M., BRUUN H.H. Y SAMMUL M. (2005) Biodiversity in temperate European grasslands: origin and conservation. *Proceedings of the 13th International Occasional Symposium of the European Grassland Federation*, Tartu, Estonia
- PICÓ F.X. Y VAN GROENENDAEL J. (2007) Large-scale plant conservation in European semi-natural grasslands: a population genetic perspective. *Diversity and Distributions*, **13**, 920-926.
- PROULX R., WIRTH C., VOIGT W., WEIGELT A., ROSCHER C., ATTINGER S., BAADE J., BARNARD R.L., BUCHMANN N., BUSCOT F., EISENHAEUER N., FISCHER M., GLEIXNER G., HALLE S., HILDEBRANDT A., KOWALSKI E., KUU A., LANGE M., MILCU A., NIKLAUS P.A., OELMANN Y., ROSENKRANZ S., SABAIS A., SCHERBER C., SCHERER-LORENZEN M., SCHEU S., SCHULZE E., SCHUMACHER J., SCHWICHTENBERG G., SOUSSANA J., TEMPERTON V.M., WEISSER W.W., WILCKE W. Y SCHMID B. (2010) Diversity promotes temporal stability across levels of ecosystem organization in experimental grasslands. *PLoS ONE*, **5**.
- RODEGHIERO M., RUBIO A., DÍAZ-PINÉS E., ROMANYÀ J., MARAÑÓN-JIMÉNEZ S., LEVY G.J., FERNANDEZ-GETINO A.P., SEBASTIÀ M.T., KARYOTIS T., CHITI T., SIRCA C., MARTINS A., MADEIRA M., ZHIYANSKI M., GRISTINA L. Y LA MANTIA T. (2011) Soil Carbon in Mediterranean Ecosystems and Related Management Problems. En: Jandl R., Rodeghiero M., Olsson M. *Soil Carbon in Sensitive European Ecosystems: From Science to Land Management*. COST and Wiley-Blackwell, Oxford.
- RODRIGUEZ-MURILLO J.C. (2001) Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biology and Fertility of Soils*, **33**, 53-61.
- RYCHNOVSKÁ M. (1993) Temperate semi-natural grasslands of Eurasia. En: R.T. Coupland (Ed.), *Ecosystems of the world 8B; Natural Grasslands; Eastern hemisphere and résumé*, pp. 125-166. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- SALA O.E., CHAPIN III F.S., ARMESTO J.J., BERLOW R., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER-SANWALD E., HUENNEKE L.F., JACKSON R.B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D., MOONEY H.A., OESTERHELD M., POFF N.L., SYKES M.T., WALKER B.H., WALKER M. Y WALL D.H. (2000) Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.
- TALMON Y., STERNBERG M. Y GRÜNZWEIG M. (2010) Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology*, **17**, 1108-1118.
- SAN MIGUEL A. (2005) La caza mayor y la caza menor. In: González, L.M. y San Miguel, A. (eds) *Manual de buenas prácticas de gestión en fincas de monte mediterráneo de la Red Natura*, pp. 191-221. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- SCHULZE E., HEINZE C., GASH J., VOLBERS A., FREIBAUER A. Y KENTARCHOS A. (Eds.) (2009) *Integrated Assessment of the European and North Atlantic Carbon Balance*. European Commission, ISBN 978-92-79-07970-2.
- SEBASTIÀ M.T. (2004) Role of topography and soils in grassland structuring at the landscapes and community scales. *Basic and Applied Ecology*, **5**, 331-346.
- SEBASTIÀ M.T. (2007) Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland, *Journal of Applied Ecology*, **44**, 158-167.
- SEBASTIÀ M.T., DE BELLO F., PUIG L. Y TAULL M. (2008a) Grazing as a factor structuring grasslands in the Pyrenees. *Applied Vegetation Science*, **11**, 215-223.
- SEBASTIÀ M.T., LLURBA R. Y CANALS R.M. (2008b) Low-intensity livestock systems in Europe: an opportunity for quality products, recreation revenues and environmental conservation. *Grassland Science in Europe*, **13**, 892-901.
- SEBASTIÀ M.T., KIRWAN L. Y CONNOLLY J. (2008c) Strong shifts in plant diversity and vegetation composition in grassland shortly after climatic change. *Journal of Vegetation Science*, **19**, 299-327.
- SOUSSANA J. F., y 28 autores más (2007) Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites, *Agriculture Ecosystems and Environment*, **121**, 121-134.
- SOUSSANA J. F., TALLEC T. Y BLANFORT V. (2010) Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, **4**, 334-350.