

El sistema de turberas de la sierra de O Xistral como reservorio de carbono, valoración, estado de conservación y amenazas*

The peatbogs system of Xistral mountain range as carbon store, valuation, conservation status and threats

Luis Gómez-Orellana, Boris Hinojo Sánchez, Marco Rubinos Román, Pablo Ramil-Rego, Javier Ferreiro da Costa, Carmen Cillero Castro.

GI-1934-TB. Laboratorio de Botánica & Bioxeografía. IBADER.
Universidade de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n.
27002 Lugo (Galicia, Spain).

Recibido: 29-noviembre-2013. Aceptado: 20-mayo-2014. Publicado en formato electrónico: 9-junio-2014

PALABRAS CLAVE: Reservorio de carbono, Turberas, Sierra de O Xistral, Conservación
KEYWORDS: Carbon store, Peatbog, Xistral mountain range, Conservation

RESUMEN

Los complejos de turberas y brezales húmedos se han revelado como los mayores reservorios de carbono de la Europa templada, conformando por tanto una pieza clave en la estrategia de lucha contra el cambio climático. En el NO de la península ibérica, las sierras septentrionales de Galicia constituyen el sector más occidental de la Cordillera Cantábrica. El núcleo central de este complejo está conformado por la sierra de O Xistral, cuya área cuminal está configurada por amplias extensiones de ecosistemas higróturbosos. La información multidisciplinar disponible permite conocer de forma detallada y correcta la dinámica, tipología y cartografía de los sistemas de turberas existentes. En base a estos datos, en el trabajo se evalúa el contenido de carbono almacenado en los diferentes ecosistemas, así como la dinámica del reservorio durante los últimos diez mil años. Los datos obtenidos reflejan que el reservorio de carbono en el sistema de turberas de la sierra de O Xistral asciende a $8,6 \cdot 10^6$ Tn, convirtiendo al territorio estudiado en uno de los mayores reservorios de carbono del SO de Europa. Los valores máximos de extensión del sumidero se relacionan con el óptico climático del Holoceno (en torno a 5.000 BP), posteriormente, los cambios climáticos provocaron una pérdida de superficie de turberas activas. Más recientemente las transformaciones antrópicas, han hecho mermar su capacidad de almacenamiento, convirtiendo además áreas de sumidero en fuentes de carbono.

ABSTRACT

The complex of peatbogs and wet heaths constitute the largest carbon pools of temperate Europe, thus forming a key part of the strategy to combat climate change. In the NW of the Iberian Peninsula, the northern mountains of Galicia are the westernmost sector of the Cantabrian mountain range. The core of this complex is formed by the Xistral mountain range, whose summits are shaped by large tracts of peaty ecosystems. The multidisciplinary information available, allows us to provide detailed and accurate information about the dynamic, typology and mapping of existing peatland systems. The paper evaluates the content of carbon stored in different habitats, and the dynamics of the carbon store during the last ten thousand years. The data show that the carbon reservoir in the system bogs goes to $8.6 \cdot 10^6$ tonnes of carbon, making the study area in one of the largest carbon reservoirs of SW Europe. The maximum values of extension of the reservoir are related to the Holocene climatic optimum (about 5,000 BP), then, climate change caused a loss of area of active bogs. More recently the anthropic transformations have made impair its storage capacity, and also that these areas becoming carbon sources.

1. INTRODUCCIÓN

Los complejos de turberas y brezales húmedos conforman los mayores reservorios de carbono a largo plazo en la Europa templada, por lo que, a pesar de la escasa superficie que ocupan,

constituyen una de las piezas fundamentales de las estrategias actuales de lucha y mitigación contra el cambio climático (FRANZÉN *et al.*, 1996; LIMPENS *et al.*, 2008). Las turberas fijan y acumulan de forma natural el carbono durante miles de años, por el contrario, su desecación y o drenado estimula la oxidación del carbono

* Presentado en la XX Bienal RSEHN, Madrid 2013

reservado, liberándose a la atmósfera en forma de CO₂ (MISTCH & GOSSELINK, 2000; CHRISTENSEN *et al.*, 2003; LIMPENS *et al.*, 2008). Estos ecosistemas constituyen, por tanto, uno de los reservorios de mayor interés e importancia, no solo por su elevada tasa de acumulación de carbono, sino por el elevado tiempo de permanencia, con tasas del orden de miles de años (FRANZÉN *et al.*, 1996; MACÍAS *et al.*, 2004, 2005; LIMPENS *et al.*, 2008).

La estructura del ecosistema determina la regulación del ciclo del carbono y por tanto su incidencia en el cambio climático. En las turberas altas se diferencian hidrológicamente dos niveles, uno superficial (acrotelm) de escaso espesor, caracterizado por un nivel de saturación de agua variable y la presencia de aire y una alta actividad microbiana; por debajo de este un nivel, se sitúa el denominado catotelm, en el que la saturación es constante y persisten las condiciones anaeróbicas.

En cuanto a su implicación en el ciclo del carbono, en el nivel superficial la tasa de descomposición de materia orgánica es elevada, liberándose CO₂ a la atmósfera cuando desciende el nivel de saturación y de metano cuando se alcanzan los valores máximos de saturación en agua. El catotelm, sin embargo, es prácticamente estanco, de modo que las emisiones de metano son mucho más limitadas. Además del intercambio gaseoso, las turberas pierden carbono en forma de carbono orgánico disuelto que se emite al medio acuático circundante. La incidencia en el ciclo del carbono de los diferentes tipos de turberas está controlada por la amplitud de la zona no saturada de agua y la vegetación existente en el ecosistema, factores además íntimamente relacionados (LIMPENS *et al.*, 2008). En cualquier caso, el balance en las turberas de la zona templada del hemisferio norte es positivo hacia el almacenamiento, con valores que oscilan entre 10 y 30 g de carbono, por metro cuadrado y año (LIMPENS *et al.*, 2008).

En el NO de la Península Ibérica, existen dos importantes áreas en las que se concentran amplias superficies de ecosistemas turbosos: el entorno del lago de Sanabria y las sierras septentrionales de Galicia (RAMIL-REGO, 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1996a, b; IZCO *et al.*, 2001; MUÑOZ SOBRINO 2001; MUÑOZ SOBRINO, *et al.*, 2005). Estas últimas constituyen el extremo occidental de la Cordillera Cantábrica y discurren paralelamente al litoral cantábrico, entre el río Eo y el golfo Ártabro (Fig. 1). El núcleo central de las sierras septentrionales de Galicia está conformado por la sierra de O Xistral, cuyas cimas más representativas superan los 1.000 m de altitud (Fig. 2). El territorio cuminal de la sierra está formado por un paisaje montañoso que constituye la divisoria entre las cuencas hidrográficas cantábrica y atlántica. El predominio de materiales metamórficos en su mitad occidental y de rocas graníticas en la oriental, determina la existencia de un modelado de vertientes altamente contrastado. El área de cumbres de la sierra se corresponde con rocas cuarcíticas muy resistentes



Figura 1. Localización del área de estudio.
— Location of the study area.

conocidas como ortocuarcitas de O Xistral (PARGA PONDAL & ALEIXANDRE, 1966).

Los sectores de mayor altitud aparecen en la parte central de la sierra de O Xistral asociados a la existencia de materiales de difícil erosión, como las cuarcitas. Por el contrario, las áreas graníticas han sufrido una intensa fracturación y meteorización, que determinan la existencia de un modelado de alveolos de alteración que han servido de área de captación de los ríos Ouro, Arnela, Castromaior y Masma (IZCO *et al.*, 2001). La presencia de cumbres aplanadas en el área dominada por las cuarcitas, así como de innumerables alveolos de alteración en el área granítica, ha favorecido la formación a lo largo del Holoceno de turberas de diferentes tipos que en su conjunto ocupan una extensa superficie en el territorio de la sierra de O Xistral (IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012).

La posición geográfica así como la configuración morfológica de la sierra hace que ésta presente características climáticas particulares, diferentes tanto de las áreas costeras, más templadas y oceánicas, como de las interiores, de mayor continentalidad. Por otra parte, la sierra conforma una barrera para la progresión de los frentes oceánicos en su periplo hacia el interior, factor que determina la existencia de un clima

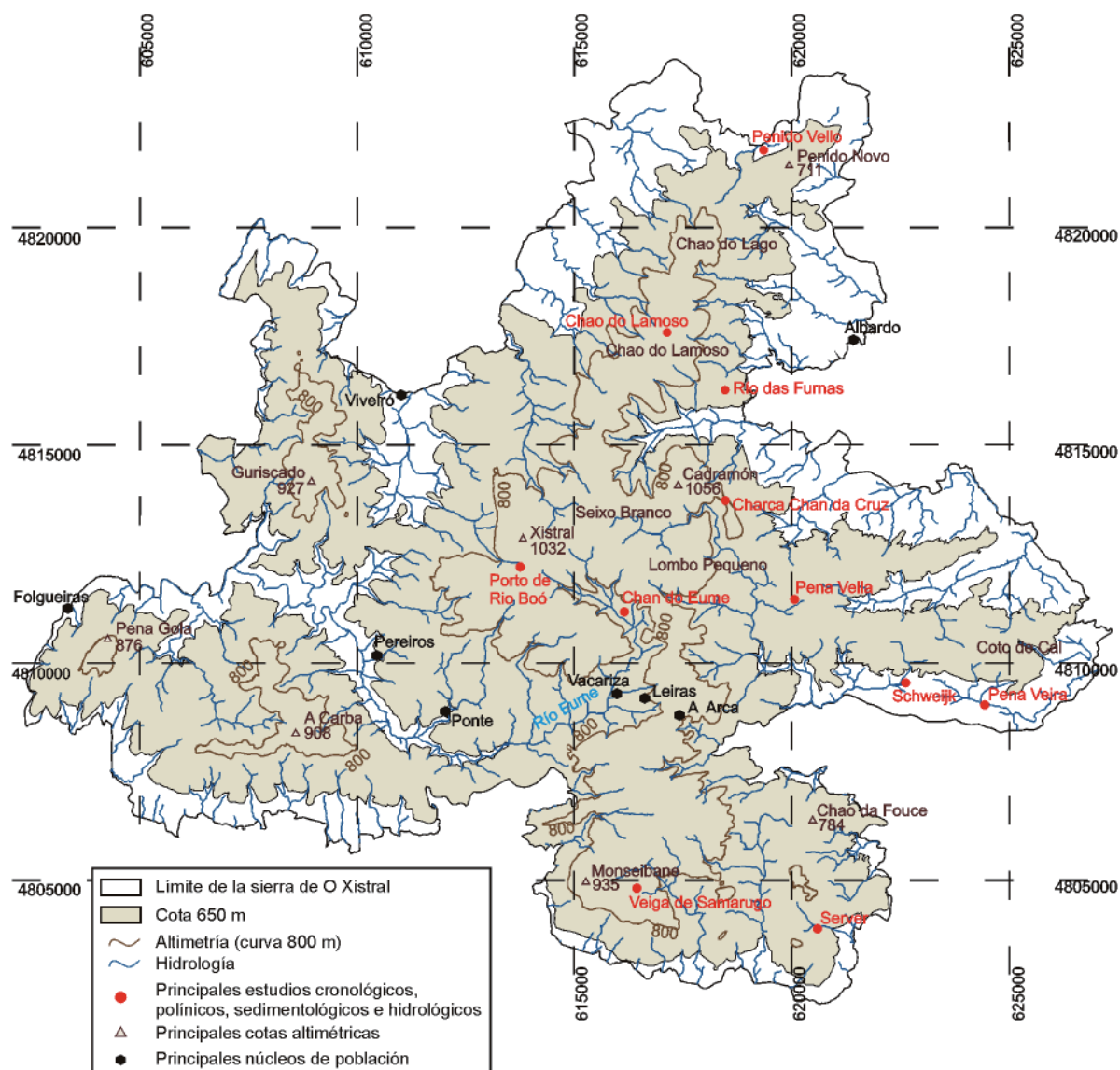


Figura 2. Territorio de estudio.
— Study area.

marcado por la oceanicidad con tendencia fría y una elevada pluviosidad a lo largo del año con frecuente presencia de nieblas estivales, incluyendo nevadas recurrentes y la permanencia de la nieve en las zonas más altas (RAMIL-REGO, 1992; IZCO *et al.*, 2001).

Todas estas características determinan que el área somital de la sierra esté configurado por amplias extensiones de ecosistemas higróturbosos (Fig. 3), entre los que se incluyen algunos de los tipos de hábitat prioritarios establecidos en la directiva hábitat (DC 92/43/CEE): 7130* Turberas de cobertor activas, Nat-2000 7110* Turberas altas activas, o Nat-2000 4020* Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas, desarrollados sobre antiguos depósitos de turba (RAMIL-REGO, 1992; IZCO *et al.*, 2001). En el territorio se dispone de una gran cantidad de información obtenida en base a más de dos décadas de estudios paleoecológicos

y cronológicos, climáticos, botánicos, sedimentológicos, cartográficos e hidrológicos (GUERRERO LÓPEZ 1985; RAMIL-REGO, 1992; TABOADA *et al.*, 1995; RAMIL-REGO *et al.*, 1994, 1996a, b, c; IZCO *et al.*, 2001; MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 2001; PONTEVEDRA *et al.*, 2001; CILLERO *et al.*, 2006; RODRÍGUEZ GUTIÁN *et al.*, 2009; RAMIL-REGO *et al.*, 2012; CILLERO, 2013). Estos trabajos permiten establecer de forma detallada y correcta la dinámica, tipología y cartografía de los sistemas de turberas y medios higróturbófilos existentes en el territorio.

En el entorno inmediato de la sierra, existen depósitos de turba fósiles cuya antigüedad se remonta a los últimos 80.000 años, como los depósitos de Area Longa (GÓMEZ-ORELLANA *et al.*, 2007) o Moucide (GÓMEZ-ORELLANA, 2002) (Fig. 1). Mientras, en la propia sierra se localizan depósitos de turba fósil cuya edad supera los

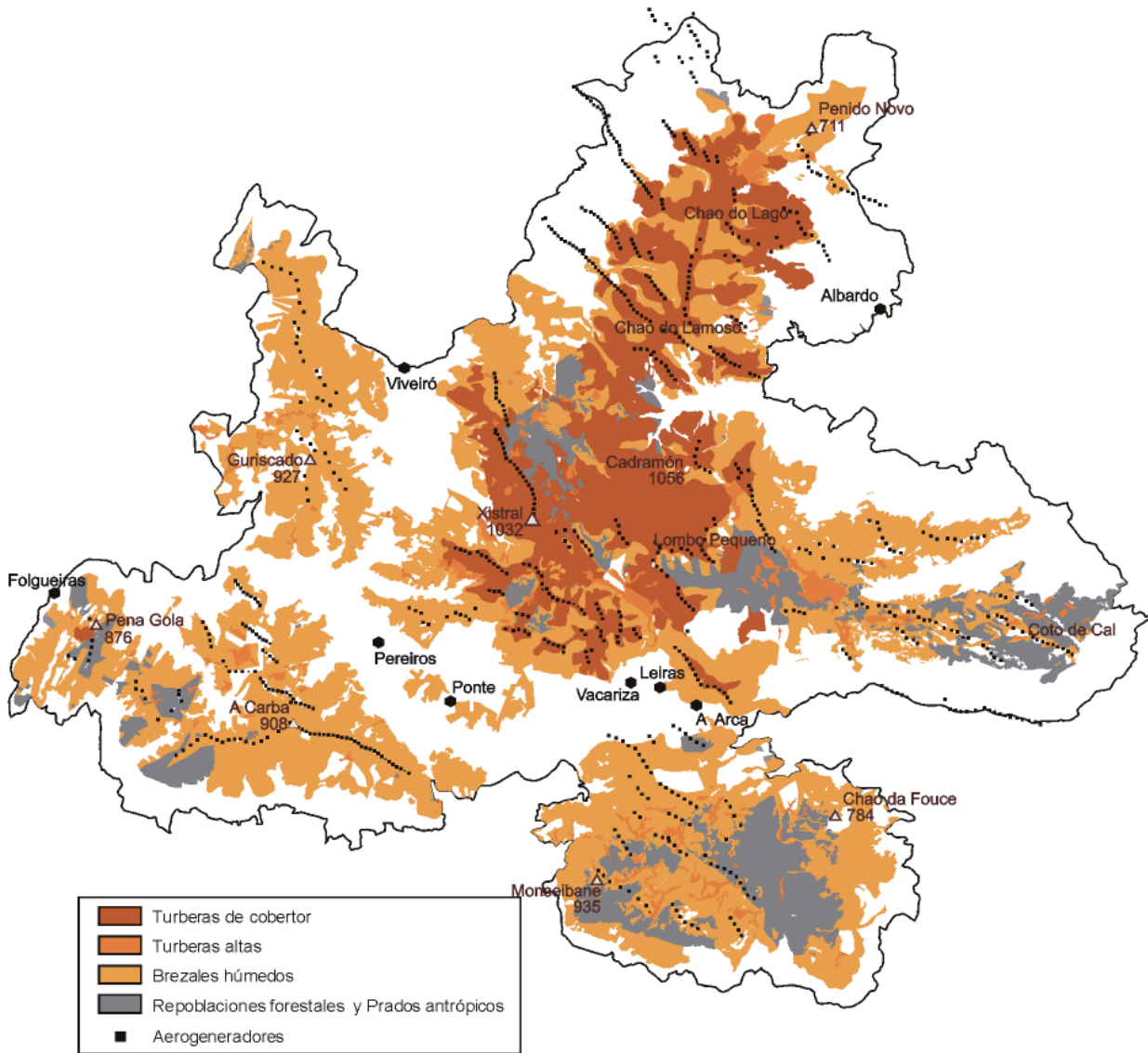


Figura 3. Cartografía del reservorio de carbono en la sierra del Xistral, por encima de 650 m de altitud. Además, se muestran las líneas de aerogeneradores instalados en la sierra.

— Mapping the carbon reservoir in the mountains of Xistral, above 650 m altitude. In addition, lines wind turbines installed in the saw are indicated.

20.000 BP (Depósito de Río Boo – GÓMEZ-ORELLANA, 2002, Figura 2) y algunas turberas permanecen activas desde hace aproximadamente 12.000 años (RAMIL-REGO, 1992, 1996a, b, 2012; IZCO *et al.*, 2001; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Las turberas de cobertor alcanzaron su máxima extensión en el NO Ibérico entre 6.000 BP y 5.000 BP, coincidiendo con el periodo de mayor termicidad y humedad del Holoceno, fase en la que este hábitat se extendía a lo largo de diferentes sistemas montañosos sublitorales del Noroeste Ibérico (RAMIL-REGO *et al.*, 1996a, b; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Posteriormente, estas formaciones sufrieron una fuerte detracción de carácter climático, hasta quedar confinadas

en las estribaciones de O Xistral y montes do Buió (RAMIL-REGO *et al.*, 1996a, b; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Estos sistemas de turberas de cobertor serían desplazados por humedales no exclusivamente ombrógenos, como turberas altas o brezales húmedos. Recientemente, se viene produciendo una sustitución de los medios turbosos por la acción antrópica, derivada de la transformación de las turberas en prados o por la instalación de plantaciones forestales de pino (principalmente entre 1950-1990) o eucalipto (a partir de 1990) o la alteración del régimen hídrico por la construcción, en las últimas décadas, de pistas forestales, parques eólicos y viales de acceso a estos.

La alteración de los ecosistemas turbosos, daría paso a que estos dejaran de comportarse como sumideros de carbono y se convirtiesen en fuentes de carbono y metano; este hecho supondría un fuerte impacto sobre el cambio climático, debido a la gran cantidad de carbono almacenado a largo plazo en las turberas. En este sentido, resulta de gran interés conocer los procesos de acumulación de carbono en estos sistemas y su dinámica y evolución. En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios que permiten conocer con detalle la dinámica de las turberas de O Xistral, su hidrología, su composición química, vegetación y cartografía (RAMIL-REGO 1992; IZCO *et al.*, 2001; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005; RODRÍGUEZ GUTIÁN *et al.*, 2009; RAMIL-REGO *et al.*, 2012). A partir de estos datos, se pretende estimar el papel como sumidero de carbono de la sierra de O Xistral, su dinámica temporal y el estado de conservación o las principales amenazas del espacio.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Como área de estudio se ha considerado el territorio montañoso incluido por encima de 650 m de la sierra de O Xistral (IZCO *et al.*, 2001). Este límite se establece en base a que sobre esta altitud, las nieblas y lluvias estivales ejercen una mayor influencia y, por tanto, es donde se concentra la presencia y dominancia de los ecosistemas húmedos (IZCO *et al.*, 2001).

Para cada una de las unidades ambientales, se establece una estimación del contenido de carbono por hectárea, a partir de los datos medios de profundidad, el contenido en carbono del sustrato y la superficie ocupada por cada uno de ellos (MACÍAS *et al.*, 2004, 2005).

En el cálculo de las superficies se empleó la cartografía temática aportada en IZCO *et al.*, 2001 y RAMIL-REGO *et al.*, 2012. Se trata de una cartografía de unidades ambientales definidas por RAMIL-REGO *et al.*, 2005, “como porciones del territorio que, poseyendo características geográficas y ecológicas homogéneas, muestra una respuesta también homogénea frente a las acciones derivadas de los procesos antrópicos, constituyendo el elemento básico sobre el que desarrollar la planificación y gestión de un territorio”. De esta forma cada unidad ambiental se individualiza en teselas o unidades cartográficas, las cuales siempre contienen hábitat característico y ocasionalmente un grupo de hábitats secundarios. En cualquier caso, los hábitats característicos presentan una cobertura mayor del 75% de la unidad cartográfica. Dentro del territorio estudiado, la unidad ambiental turberas de cobertor se corresponde prácticamente al 100% con el tipo de hábitat 7130* turberas de cobertor, mientras que, las turberas altas pueden contener pequeñas superficies de otros tipos de hábitats higróturbosos, al igual que en la unidad

ambiental brezales húmedos, donde es común la existencia de pequeñas superficies de turberas intercaladas entre el matorral.

Los datos de contenido en carbono en la turba, se calcularon en los estudios sedimentológicos previos realizados en el área (RAMIL-REGO, 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1994, 1996 a, b; TABOADA CASTRO *et al.*, 1995; IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012). El valor medio se calculó a partir de datos parciales de contenido en carbono obtenidos a lo largo de columnas recuperadas en sondeos realizados en los diferentes ecosistemas turbosos. Los depósitos de turba presentan una escasa variación vertical, estando compuestos los perfiles por turba evolucionada en la cual no son visibles las fibras vegetales, salvo en los centímetros superiores de los depósitos activos, en los cuales la turba presenta un menor grado de evolución y son reconocibles las fibras vegetales (RAMIL-REGO, 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1994; TABOADA CASTRO *et al.*, 1995; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). El valor medio de de carbono en la turba es de un 51%, mientras que la densidad media se sitúa en 1,57gcm⁻³, estimándose una tasa de acumulación anual de 0,32 Tn C.ha⁻¹.a⁻¹.

Los estudios paleoecológicos realizados en el territorio (RAMIL-REGO, 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1994, 1996b; TABOADA CASTRO *et al.*, 1995; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005, etc.), así como las catas de profundidad realizadas en las distintas unidades ambientales realizadas en el marco del proyecto de investigación “Flujos de carbono en humedais continentais atlánticos” (10MDS276025PR Conselleríade Economía e Industria. Xunta de Galicia), han permitido establecer los valores medios de profundidad del sustrato en cada una de dichas unidades.

En base a los datos disponibles en lo que respecta a la dinámica paleoecológica del territorio (RAMIL-REGO 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1996a, b; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005; GÓMEZ-ORELLANA *et al.*, 2007), se establecen los valores máximos del reservorio y su evolución en función de los cambios climáticos y antrópicos. Por último, para la evaluación del estado de conservación y las principales amenazas del reservorio, se emplean los datos disponibles en IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012.

3. RESULTADOS

3.1. Introducción

De acuerdo con la Directiva Hábitat, los ecosistemas turbosos presentes en la sierra de O Xistral, se incluirían en el grupo de turberas ácidas, estando representadas por los tipos de hábitats 7130* Turberas de cobertor activas y 7110* Turberas altas y 7120 Turberas altas degradadas que todavía pueden regenerarse de manera natural. Se trata de medios en los que se desarrollan biocenosis y características hidrológicas propicias

a la formación de turba, independientemente de su potencia o incluso de la propia existencia de un sedimento turboso. Además, en el territorio se conservan amplias extensiones de antiguos depósitos de turba, en las que el sedimento no se corresponde con la vegetación instalada, dado que se trata de antiguas turberas colonizadas por brezales de marcado carácter húmedo integrados en el tipo de hábitat 4020* Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas de *Erica ciliaris* Loeffl. Ex L. y *Erica tetralix* L.

3.2. Turberas de Cobertor (Nat-2000 7130 Turberas de cobertor -* para las turberas activas)

Las turberas de cobertor activas constituyen ecosistemas turfófilos extensos, identificables a escala de paisaje, que se extienden por relieves llanos o inclinados, mal drenados. En el territorio se clasifican como ombrotróficas oligotrofas y se caracterizan por la presencia de una cubierta herbácea extremadamente densa de cárices y gramíneas, en las que domina el algodón de los pantanos (*Eriophorum angustifolium* Honck., Verz. Gew.) (IZCO *et al.*, 2001; RODRÍGUEZ GUTIÁN *et al.*, 2009). Se extienden por amplias superficies de áreas cuninales por encima de los 800 o 900 m de altitud (Figs. 2 y 3) conformando el mayor sistema de turberas de cobertor del SO de Europa (RAMIL-REGO *et al.*, 1996 a, b, 2012; IZCO *et al.*, 2001). En la sierra de O Xistral, estas turberas se asientan sobre sustratos ácidos deficientes en minerales alterables, principalmente cuarcitas y areniscas (IZCO *et al.*, 2001).

En la sierra de O Xistral, existen turberas de cobertor que permanecen activas desde hace unos 12.000 años (RAMIL-REGO 1992; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Su desarrollo está directamente vinculado con la dinámica climática regional. En los periodos más húmedos del Holoceno (6.000-5.000 años BP) alcanzaron su máxima extensión geográfica, distribuyéndose por la mayor parte de los relieves montañosos septentrionales de Galicia y del occidente de Asturias, como queda patente en la abundancia de sedimentos turbosos fósiles adscritos a este periodo. Además, para esta fase de elevada pluviosidad, se ha documentado la presencia de turberas de cobertor en otras estribaciones montañosas próximas a la costa, tanto en la fachada atlántica como cantábrica, extendiéndose por tanto, desde el Norte de Portugal a la Bretaña Francesa. En los últimos 3.000 años, el área de distribución de este hábitat sufrió una fuerte retracción, hasta quedar confinadas a las estribaciones montañosas de la Serra de O Xistral. En el resto de las localidades, las áreas ocupadas por las turberas de cobertor fueron desplazadas por brezales higrófilos e higróturfófilos, incluidos dentro del tipo Nat-2000 4020*, así como por Turberas altas (Nat-2000 7110*).

La potencia de turba en las turberas de cobertor de O Xistral se sitúa en el área de estudio

entre 50 cm y más de 550 cm (RAMIL-REGO 1992, 2012; RAMIL-REGO *et al.*, 1994; TABOADA CASTRO *et al.* 1995). La profundidad media de los depósitos es muy variable, por lo cual se han establecido dos valores medios; en un 20% del territorio ocupado por este tipo de hábitat se situaría en 300 centímetros mientras que en el 80% restante se correspondería con 150 centímetros. La superficie cartografiada, se extiende hasta las 3.103,631 ha, en las que a partir de los datos disponibles se estima que el reservorio actual de carbono asciende a 4.469.256 Tn (Tabla I).

3.3. Turberas altas (Nat-2000 7110* Turberas altas activas; 7120 Turberas altas degradadas que todavía pueden regenerarse de manera natural)

Son turberas ácidas, ombrotróficas, pobres en nutrientes minerales, sostenidas básicamente por agua de lluvia, con el nivel freático más elevado que el entorno y con vegetación perenne, caracterizada por la abundancia de esfagnos de llamativos colores. Las comunidades vegetales presentes en las turberas altas activas son variadas y adaptadas a los diferentes estadios en la dinámica del humedal (IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012). Las comunidades pioneras se relacionan con la existencia de charcos o áreas con cierta afluencia de agua sobre las que se desarrollan tapices discontinuos de sphagnos (*Sphagnum papillosum* Lindb., *Sphagnum auriculatum* Schimp., etc.), cuya presencia favorece la instalación de plantas gramínoideas higrófilas. Otras formaciones pioneras se caracterizan por el dominio de *Sphagnum pylaesii* Brid. acompañado de *Carum verticillatum* (L.) W.D.J. Koch, formando comunidades vegetales de gran importancia y singularidad, dado que representan formaciones características y residuales de los ambientes fríos registrados en el NO Ibérico durante el Cuaternario (IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012). Las comunidades pioneras, son sustituidas gradualmente por comunidades más densas, dominadas por un tapiz continuo de esfagnos, la acumulación periódica de restos vegetales provoca la elevación de la superficie del humedal en relación con el relieve primitivo. Dentro del concepto general de turbera de captación, se establece una tipología basada en las características genéticas y morfológicas: turberas de alveolo, turberas de fondo de valle, turberas de ladera y turberas de obturación glaciaria. Las turberas de alveolo se distribuyen mayoritariamente en la sierra sobre los sectores de litología granítica, en las áreas de Monseibane y A Toxiza (Fig. 2). Las turberas de fondo de valle, aparecen ligadas en la sierra de O Xistral a las áreas de nacimiento de los principales ríos del territorio. Las turberas de ladera, tapizan gran parte de las faltas de las principales elevaciones de la sierra de O Xistral, están ligadas a puntos de las laderas en las que

Tabla I. Datos de superficies cartografiadas, profundidades medias de los depósitos turbosos y cantidades de carbono secuestradas para cada una de las unidades ambientales analizadas.

— Data mapped surfaces, average depths of peat deposits and amounts of carbon sequestered for each of the environmental units analyzed.

Unidad Ambiental	Superficie (ha)	Profundidad media (cm)	carbono secuestrado (Tn)
Turberas de cobertor	3.103,631	150-300	4.469.256
Turberas altas activas	398,61	200	637.776
Turberas altas no activas	49,83	200	79.728
Brezales húmedos	8.658,95	50	3.463.580
Prados antrópicos y repoblaciones forestales	2.209	-	-

se produce un afloramiento y encauzamiento de la capa freática. Las turberas de obturación representan en el territorio, pequeñas turberas en las cabeceras de los ríos Pedrido y Eume (Fig. 2).

En la sierra de O Xistral, este hábitat está representado por unidades territoriales de entre 2 y 5 ha de fácil identificación y delimitación. Por tanto, las unidades ambientales se corresponden en gran medida con el tipo de hábitat turbera alta.

Los depósitos de turba en estos ecosistemas alcanzan potencias que van desde unos pocos centímetros hasta más de 350 centímetros (RAMIL-REGO 1992, 2012; RAMIL-REGO *et al.*, 1994; TABOADA CASTRO *et al.* 1995), situándose el valor medio en 200 cm (Tabla I). La edad de la parte basal alcanza los 10.000 años de antigüedad, en algunos depósitos (RAMIL-REGO, 1992, 1996a; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). La superficie cartografiada para este tipo de hábitat asciende a 398,61 ha, en las que se estima que hay acumulado un total de 637.776 Tn de carbono. Además, existen 49,83 ha de turberas altas no activas, que acumularían un total de 79.728 Tn de carbono.

3.4. Brezales húmedos (Nat-2000 4020* Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas de *Erica ciliaris* y *Erica tetralix*)

A partir de los 700 m de altitud, las precipitaciones estivales y las nieblas determinan que los brezales húmedos del territorio presenten un marcado carácter higrófilo (Izco *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 2012). Por encima de esa cota, es frecuente que los brezales se instalen sobre antiguos depósitos de turba, inactivos en la actualidad. Fisionómicamente se corresponden con matorrales de escasa altura con cobertura arbustiva variable. Intercaladas en el seno de los brezales se localizan turberas altas de menor extensión y difícil delimitación. La profundidad media de los depósitos de turba se sitúa en 50 cm (Tabla I), abarcando una superficie de de 8.658,95 ha, que se correspondería a con 3.463.580 Tn de carbono acumulado.

4. DISCUSIÓN

Reuniendo los contenidos de carbono en el total de las unidades ambientales, se estima que en el conjunto del territorio de la sierra de O Xistral, el reservorio asciende a más de $8,6 \cdot 10^6$ Tn de carbono, cuya acumulación se viene realizando desde hace más de 20.000 BP en el entorno del Último Máximo Glaciar (RAMIL-REGO, 1992; GÓMEZ-ORELLANA 2002; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Durante este periodo el paisaje en el territorio estaría marcado por el predominio de brezales y formaciones herbosas de carácter oceánico (GÓMEZ-ORELLANA, 2002).

Finalizado el Último Máximo Glaciar, y tras una fase de deglaciación (Tardiglaciar) se inicia, hace unos 10.000 años, el actual interglaciar, el Holoceno. Este periodo se desarrolla a lo largo de tres fases, una inicial de paulatina expansión de los bosques a la que sigue el periodo de mayor benignidad climática, denominado óptimo climático. Finalmente, los últimos 3.000 años del Holoceno están marcados por la intensificación de la influencia antrópica en el territorio, que deriva finalmente en una intensa deforestación.

En el territorio estudiado, el inicio de la colonización arbórea se caracteriza por una expansión de los brezales y una débil fase de colonización arbórea marcada por la presencia de *Betula* y *Pinus*, manteniendo el paisaje un carácter desarbolado. En torno a 9.000 BP se produce el paulatino incremento del robledal, hasta instalarse la hegemonía absoluta de robledales dominados por *Quercus robur* y *Corylus* (RAMIL-REGO, 1992; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). En el entorno del 4.000-3.000 BP, las secuencias polínicas registran una progresiva disminución de los porcentajes arbóreos, en respuesta al incremento de los procesos deforestadores, y la actividad agrícola paralela al desarrollo en el territorio de la Cultura Castrexa (RAMIL-REGO, 1992; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005).

Los datos disponibles en el territorio de la sierra de O Xistral, permiten establecer un importante cambio en los depósitos turbosos ligado al Tardiglaciar. Durante el final del Último Máximo Glaciar y el propio Tardiglaciar,

se produce la desmantelación y el sellado de la mayor parte de los depósitos de turba que permanecieron activos durante diversas etapas del último periodo glaciario (GÓMEZ-ORELLANA, 2002; GÓMEZ-ORELLANA *et al.*, 2007). Por el contrario, la mejoría climática iniciada con el Tardiglaciario, determina el inicio de la formación de nuevos ecosistemas turbosos en las áreas cuminales de la sierra, muchos de los cuales permanecen activos en la actualidad (RAMIL-REGO, 1992; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005).

Los datos paleoecológicos disponibles para el Noroeste Ibérico, reflejan como en las áreas montañosas de este territorio, las turberas de cobertor irían teniendo paulatinamente un mayor grado de importancia, alcanzando su máxima expansión territorial en torno a 5.000-6.000 BP, durante el óptimo climático del Holoceno (RAMIL-REGO *et al.*, 1996 a, b; MUÑOZ SOBRINO, 2001; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005). Estos datos permiten situar el momento de mayor extensión del reservorio, y por tanto, la cifra más alta de secuestro de carbono en torno a 5.000 BP. Los datos correspondientes a las tasas de sedimentación, permiten estimar que en la actualidad se depositan 1.120 Tn de carbono al año, mientras que el valor máximo de acumulación, centrado en torno a 5.000 BP, se situaría en 4.742 Tn anuales.

Los cambios climáticos ocurridos en torno a 5.000 BP derivaron en una importante reducción de la extensión ocupada por las turberas (RAMIL-REGO *et al.*, 1996 a, b; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005), aunque sin embargo, la superficie activa de captación de carbono en la actualidad en la sierra continúa siendo muy elevada. La mayor parte de esta superficie fue perdiendo capacidad de formación de turba, fue colonizada por brezales de marcado carácter húmedo en los que a pesar de no existir formación de turba, la presencia de hidromorfía permanente y por tanto de condiciones anóxicas o subóxicas, permiten el mantenimiento del carbono secuestrado en la turba (IZCO *et al.*, 2001; RAMIL-REGO *et al.*, 1996 a, b, 2012; MUÑOZ SOBRINO, 2001; FERREIRO DA COSTA *et al.*, 2013).

Los datos disponibles sobre acumulación de carbono en los sustratos de Galicia, muestran que en la totalidad de los suelos de Galicia se acumula un valor total de 615,5 10^6 Tn de carbono (MACIAS *et al.*, 2004, 2005). Teniendo en cuenta este dato, las 12.200 ha de territorio analizado, contienen un 1,3 % del total del carbono acumulado en los sustratos de Galicia, mientras que territorialmente apenas suponen un 0,4% de la superficie continental de Galicia. En lo que respecta a las tasas de secuestro por unidad de superficie, en el conjunto de Galicia la tasa media sería de 208 Tn de carbono secuestrado por hectárea, mientras que en el complejo de turberas y brezales húmedos analizado, el valor se situaría en 705 Tn de carbono secuestrado por hectárea.

Por otra parte, los resultados del Cuarto Inventario Forestal, reflejan que en Galicia la biomasa forestal supone 93,9 $\times 10^6$ Tn de carbono

secuestrado (MARM, 2011). En este sentido, el contenido de carbono en los ecosistemas estudiados equivaldría al 12,5% del carbono secuestrado por los bosques de Galicia, en una superficie equivalente al 0,9% de la superficie arbolada de Galicia. En cuanto a la comparación de tasas de secuestro, la biomasa arbórea retendría una media de 66 Tn de carbono por hectárea, mientras que en el complejo de humedales de O Xistral, el valor sería diez veces mayor, alcanzando las 705 Tn de carbono por hectárea. Por tanto, los ecosistemas turbosos del Xistral poseen una tasa de secuestro de carbono diez veces mayor que las masas arboladas de Galicia.

Ambos datos revelan la importancia del territorio estudiado en cuanto a su capacidad de secuestro de carbono, valor que se incrementa, si tenemos en cuenta que la tasa de permanencia del carbono en la turba es mucho más elevada que en los suelos o en los ecosistemas forestales.

Los valores reflejan el valor del territorio estudiado como un punto estratégico en la lucha contra el cambio climático en el Noroeste de la Península Ibérica y uno de los mayores reservorios activos del Suroeste de Europa. En el área existen grandes superficies de depósitos turbosos que llevan actuando como sumidero de carbono desde hace cien mil años (RAMIL-REGO, 1992; RAMIL-REGO *et al.*, 1996 a, b, 2012; IZCO *et al.*, 2001; MUÑOZ SOBRINO *et al.*, 2005; GÓMEZ-ORELLANA *et al.*, 2007).

Las alteraciones en las condiciones de los suelos hidromorfos, representa una pérdida significativa de carbono, dado que las condiciones dominantes en el sustrato pasan a ser óxicas y por tanto el subsiguiente incremento de la oxidación y el metabolismo provocaría la emisión de grandes cantidades de carbono acumuladas durante miles de años.

Por tanto, la conservación de las condiciones ambientales que permiten la formación activa de turba, así como el mantenimiento de los depósitos de turba no activos, resulta crucial a la hora de preservar el reservorio de carbono. De esta forma, la conservación de estos tipos de hábitats resulta crucial en la lucha por la mitigación del cambio climático de carácter antrópico, más allá de la importancia de los propios hábitats en lo que respecta a la conservación de la biodiversidad y la riqueza paisajística.

La mayor parte de la superficie de turberas y gran parte de los sistemas turbófilos presentes en la sierra de O Xistral, se encuentran actualmente incluidos en la Red Natura 2000, en el LIC ES1120015 Serra do Xistral (Fig. 1) y en la Red Gallega de Espacios Protegidos bajo la figura de Zona de Especial Protección de los Valores Naturales (ZEPVN). Los datos sobre la valoración de este espacio aportados en el "Plan Director da Rede Natura 2000 de Galicia" (RAMIL-REGO *et al.*, 2012), muestran como las Turberas de Cobertor activas y las aguas estancadas presentan un valor de conservación muy elevado y suponen

el 55,4% del territorio del LIC Serra do Xistral. Además, un 13,4% del territorio, conformado por aguas corrientes, turberas altas activas y brezales húmedos, presenta un valor de conservación alto. En el territorio de la sierra, se sitúa la presencia de una especie de flora y siete de mamíferos incluidos en el Anexo II de la Directiva 92/43/CEE, así como 12 especies de aves incluidas en el Anexo I de la citada directiva.

Al igual que otros territorios, la sierra de O Xistral ha estado sometida a una intensa modificación del medio por parte del hombre. Las modificaciones antrópicas han supuesto una afección significativa sobre los valores de biodiversidad de las turberas de O Xistral, lo cual resulta especialmente relevante puesto que este territorio posee la condición de complejo turfófilo con mayor valor de conservación de Europa meridional (IZCO *et al.*, 2001; GÓMEZ-ORELLANA *et al.*, 2008; RAMIL REGO & CRECENTE MASEDA, 2009). Entre la década de 1950 y 1990, las principales modificaciones se corresponden con plantaciones forestales de *Pinus* spp. y transformaciones de humedales en pastizales. A partir de 1990 se introduce la plantación de *Eucalyptus* spp. y, más recientemente, la instalación de parques eólicos sobre ecosistemas de turbera. Estas alteraciones han reducido la superficie del reservorio en más de 2000 ha (Tabla I) y, por tanto, han mermado la capacidad de secuestro de carbono del territorio en unas 700 Tn anuales.

La existencia del hábitat de interés comunitario Turberas altas degradadas que todavía pueden regenerarse de manera natural (Nat-2000 7120), motiva que sea necesario recuperar ese espacio como reservorio. En todo caso, resulta paradójico que para lograr el fomento de energías renovables que no producen emisiones directas de CO₂ a la atmósfera, encaminadas al cumplimiento de los objetivos de lucha contra el calentamiento global, se destruyan ecosistemas que funcionan como reservorios de carbono y que constituyen el mayor reservorio a largo plazo del Noroeste de la Península Ibérica.

La inclusión de la sierra en un espacio natural protegido, unido a la condición de hábitats prioritarios de los ecosistemas turbosos presentes (Nat-2000 7130*, 7110*, 4020*), conlleva la necesidad de someter los proyectos de instalación de los parques eólicos al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. Sin embargo, los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental no se adecúan a las necesidades de conservación de los medios turbosos de O Xistral. De forma habitual, los programas de vigilancia y seguimiento suelen focalizarse en los daños por colisión sobre fauna voladora (GARCÍA ARRESE *et al.*, 2003; GARCÍA ARRESE, 2005; ATIENZA *et al.*, 2011; TOMÉ 2012; IBÁÑEZ *et al.*, 2012; CAMIÑA, 2012), aunque obvian otros grupos de especies sobre los que también puede existir afección por parte de los parques eólicos (RIO-MAIOR *et*

al.; 2012; IZCO *et al.*, 2001; COPENA & SIMÓN, 2012). Es por ello que estos planes de seguimiento han sido criticados por ser herramientas poco flexibles y de reducida utilidad (ARENAS & VIDAL, 2012), precisando de la incorporación de nuevas perspectivas y metodologías.

Además, la concepción de los parques dentro de un Plan Sectorial Eólico, debería haber motivado el sometimiento del mismo al procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica. Sin embargo, este aspecto era evitado debido a que como reconoce GARCÍA ARRESE (2005), la normativa sectorial vigente (Decreto 205/1995), en el momento de mayor ritmo de instalación de parques eólicos en la sierra de O Xistral, favorecería la fragmentación de proyectos de grandes dimensiones, invalidando cualquier intento formal de realizar una Evaluación Ambiental Estratégica. En consecuencia, se ha realizado un masivo establecimiento de parques eólicos en la Serra do Xistral, en numerosos casos construidos directamente sobre hábitats de turbera (Figs. 3 y 4) sumando más de 600 MW de potencia instalada.

La ineficacia de las evaluaciones de impacto ambiental, así como de las medidas correctoras y los planes de vigilancia, motivan que se hayan registrado importantes pérdidas de valores de la biodiversidad en el espacio. Especialmente vulnerables frente a la instalación de los parques eólicos e infraestructuras asociadas (cimentaciones, pistas, cunetas, líneas, subestaciones) son los ecosistemas turbosos (Figs. 4 y 5). Además de la afección directa a los hábitats prioritarios sobre los que instalan dichos elementos artificiales (VÁZQUEZ, 2012), estos provocan una afección significativa sobre la funcionalidad del ecosistema circundante, por modificación y alteración del funcionamiento del sistema hidrológico, provocando la alteración o pérdida de las condiciones turbógenas, en una parte o en el total de la turbera afectada. La orografía de la sierra provoca una elevada concentración de pistas, que lleva asociada fenómenos erosivos que afectan a los hábitats sobre los que se establece la pista, así como a aquellos que se sitúan en su radio de acción ladera abajo (Fig. 5) (FAGÚNDEZ, 2008; FRAGA *et al.* 2008; IZCO *et al.*, 2001).

Otro de los aspectos que no se han tenido en cuenta son los efectos acumulativos de los parques eólicos en combinación con otros planes o proyectos (TAPIA *et al.*, 2005). De este modo, la instalación de los parques eólicos en la sierra de O Xistral ha estado seguida de un significativo incremento de las praderas artificiales, favorecido por la construcción de la densa red de viales asociada a los parques, que facilitan el acceso a los praderíos. Este proceso de transformación se ha realizado a costa de ecosistemas turbosos o turbófilos, motivando la pérdida de la superficie ocupada por estos hábitats prioritarios (IZCO *et al.*, 2001; RAMIL REGO & CRECENTE MASEDA, 2009; SIMÓN & VÁZQUEZ, 2005) en beneficio de



Figura 4. Infraestructura eólica instalada sobre turbera de cobertor en la sierra de O Xistral.
— Wind farm installed on blanket bog in the mountains of O Xistral.

formaciones sinantrópicas, en las que se precisa de una elevada intervención para su puesta en producción (drenaje, encalado, fertilización, siembra, etc.).

Actualmente y siguiendo el artículo 1 de la Directiva 92/43/CEE, el estado de conservación de los hábitats de turbera presentes en la sierra de O Xistral no se puede considerar como favorable, debido a que la instalación de infraestructuras eólicas y las transformación de hábitats de turbera en prados ha mermado la superficie de dichos hábitats. Además, la apertura de viales de acceso a las infraestructuras, facilita y favorece el acceso hasta estos ecosistemas con el consiguiente riesgo para el mantenimiento de estos hábitats a largo plazo.

Por tanto, debería ser considerada la posibilidad de eliminar, o en su caso mitigar y controlar, las alteraciones producidas sobre la hidrología y la dinámica de los ecosistemas turfófilos de la sierra de O Xistral. Con estas medidas debería contribuirse a la recuperación del funcionamiento de los mismos para evitar que se conviertan en emisores de carbono a la atmósfera, además de remitir la pérdida de biodiversidad motivada por la afección sobre su composición y estructura. Estos aspectos resultan especialmente destacados en el caso de la sierra de O Xistral, ya que constituye un punto estratégico en la lucha contra el cambio climático y representa el

complejo turfófilo de mayor valor de conservación del SO europeo.

5. CONCLUSIONES

Los datos revelan que el territorio de las sierras septentrionales de Galicia conforma uno de los mayores reservorios de carbono del Suroeste de Europa. El reservorio está representado por grandes superficies de depósitos de turba que mantienen características anóxicas o suboxicas y que acumulan carbono desde el Último Máximo Glaciar (20.000 BP). A su vez, existen amplias extensiones de turberas activas en las que continúa desarrollándose una intensa actividad de captación de carbono.

A pesar de la escasa superficie ocupada por los ecosistemas analizados, el valor como reservorio resulta muy elevado, en comparación con los valores disponibles para el conjunto de los sustratos o de la biomasa forestal de Galicia. De este modo, se incrementa de manera significativa el valor de conservación del territorio, ya de por sí elevado, por la existencia de tipos de hábitats y paisajes singulares de alto interés para la conservación de la biodiversidad.

Las actividades antrópicas que conllevan la alteración activa o pasiva de las condiciones ecológicas del territorio, derivan en una amenaza



Figura 5. Vista general de la alteración del hábitat turbera de cobertor por la instalación de un parque eólico y sus infraestructuras de acceso.

— Overview of the alteration in blanket bog habitat by installing a wind farm and access infrastructure.

para la conservación de estos hábitats y, por tanto, a la conservación de la biodiversidad y a la lucha por la mitigación del cambio climático derivado de la acción humana, dado que transforman áreas de sumidero en fuentes de emisión de carbono. En este sentido, la sinergia entre el establecimiento de parques eólicos, junto a praderas artificiales y repoblaciones forestales, constituye la principal amenaza del territorio, derivando en la pérdida de las condiciones que permiten la formación de turba y por tanto la pérdida de superficie de secuestro de carbono a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto 10MDS276025PR (PGIDT-2010 Con-sellería de Innovación e Industria, Xunta de Galicia). Agradecemos a dos revisores anónimos los comentarios que han contribuido a enriquecer el artículo.

BIBLIOGRAFÍA

ARENAS, M. & VIDAL, M. 2012. Valor añadido en el seguimiento ambiental: modelizando el patrón

espacio-temporal de vuelo. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes.* págs. 50-50. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.

ATIENZA, J.C., MARTÍN FIERRO, I., INFANTE, O., VALLS, J. & DOMÍNGUEZ, J. 2011. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). 115 págs. SEO/BirdLife. Madrid.

CAMIÑA, A. 2012. Importancia del manejo adaptativo en el seguimiento de parques eólicos. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes.* págs. 56-56. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.

CILLERO, C. 2013. *Identificación y definición del estado de conservación de humedales lagunares de Galicia y su integración en el sistema territorial.* 458 págs. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela. Ibader. Lugo.

CILLERO, C., EIRALDI, N.G. & RAMIL-REGO, P. 2006. Las aguas superficiales de las turberas de cobertor de las Sierras Septentrionales de Galicia.

- XIII Congreso de la Asociación Española de Limnología. Libro de Resúmenes, págs. 117-117.
- CHRISTENSEN, T.R., PANIKOV, N., MASTEPANOV, M., JOABSSON, A., STEWART, A., OQUIST, M., SOMMERKORN, M., REYNAUD, S. & SVENSSON, B. 2003. Biotic control on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands: a closed environment study. *Biogeochemistry*, **64**: 337-354.
- COPENA, D. & SIMÓN, X. 2012. Energía eólica y Red Natura en Galicia: el caso de la Serra do Xistral. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes*. págs. 25-25. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.
- FAGÚNDEZ, J. 2008. Effects of wind farm construction and operation on mire and wet heath vegetation in the Monte Maior SCI, north-west Spain. – *Mire and Peat 4 (2008/9), Article 02*.
- FERREIRO DA COSTA, J., RAMIL-REGO, P., HINOJO SÁNCHEZ, B., CILLERO CASTRO, C., RUBINOS ROMÁN, M., GÓMEZ-ORELLANA, L. & DÍAZ VARELA, R.A. 2013. Diagnóstico y Caracterización de los Brezales Húmedos (Nat-2000 4020*) de las Sierras Septentrionales de Galicia a partir de Criterios Científicos: Importancia para su Conservación. *Recursos Rurais*, **9**: 65-77.
- FRAGA, M.I., ROMERO-PEDREIRA, D., SOUTO, M., CASTRO, D. & SAHUQUILLO, E. 2008. Assessing the impact of wind farms on the plant diversity of blanket bogs in the Xistral Mountains (NW Spain). - *Mire and Peat 4 (2008/9), Article 06*.
- FRANZÉN, L.G., CHEN, D. & KLINGER, L.F. 1996. Principles for a climate regulation mechanism during the late Phanerozoic era, based on carbon fixation in peatforming wetlands. *Ambio*, **25**(7): 435-442.
- GARCÍA ARRESE, A.M. 2005. *Evaluación de Impacto Ambiental de Parques Eólicos en Galicia*. 500 págs. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- GARCÍA ARRESE, A.M., FONTÁN GIAO, L.E., NIETO OLANO, C. & MACÍAS, F. 2003. Avance de resultados de los planes de seguimiento y vigilancia ambiental de avifauna en los parques eólicos de Paxareiras-A Ruña. In: S. GONZÁLEZ, Coord. *Actas V Congreso de Ornitología*. págs. 29-32. Sociedade Galega de Historia Natural. Santiago de Compostela.
- GÓMEZ-ORELLANA, L. 2002. *El último ciclo Glaciar-Interglaciar en el litoral del NW ibérico: Dinámica climática y paisajística*. 356 págs. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela, Lugo.
- GÓMEZ-ORELLANA, L., RAMIL-REGO, P. & MUÑOZ SOBRINO, C. 2007. The Würm in NW Iberia, a pollen record from Area Longa (Galicia). *Quaternary Research*, **67**: 438-452.
- GÓMEZ-ORELLANA, L., RAMIL REGO, P., CRECENTE MASEDA, R., RAMIL REGO, E., FERREIRO DA COSTA, J., DE NÓVOA FERNÁNDEZ, B., RUBINOS ROMÁN, M.A., HINOJO SÁNCHEZ, B. & MUÑOZ SOBRINO, C. 2008. *Terras de Miranda*. 162 págs. Asociación Terras de Miranda. Mondoñedo.
- GUERRERO LÓPEZ, F. 1985. *Estudio de las aguas de turberas españolas*. Comunicaciones del I.N.I.A. Serie General, **15**, 124 págs. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- IBÁÑEZ, C., BERRÍO-MARTÍNEZ, J. & SÁNCHEZ, S. 2012. Evaluación del papel de los murciélagos en los Estudios de Impacto Ambiental y programas de vigilancia en parques eólicos españoles. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes*. págs. 48-48. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.
- IZCO SEVILLANO, J., DÍAZ VARELA, R., MARTÍNEZ SÁNCHEZ, S., RODRÍGUEZ GUITIÁN, M.A., RAMIL REGO, P. & PARDO GAMUNDI, I. 2001. *Análisis y valoración de la Sierra de O Xistral: un modelo de aplicación de la Directiva Hábitat en Galicia*. Colección Técnica. 162 págs. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- LIMPENS, J., BERENDSE, F., BLODAU, C., CANADELL, J.G., FREEMAN, C., HOLDEN, J., ROULET, N., RYDIN, H. & SCHAEPMAN-STRUB, G. 2008. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis. *Biogeosciences*, **5**: 1475-1491.
- MACÍAS, F., CALVO DE ANTA, R., RODRÍGUEZ LADO, L., VERDE, R., PENA PEREZ, X., CAMPS ARBESTAIN, M. 2004. El sumidero de carbono en los suelos de Galicia. *Edafología*, **11**(3): 341-376.
- MACÍAS, F., CAMPS ARBESTAIN, M., RODRÍGUEZ LADO, L. 2005. Alternativas al secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurais*, **1**: 71-85.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., CHESWORTH, W. & GARCÍA-RODEJA GAYOSO, E. 2001. Dinámica geoquímica de las turberas de Galicia. In: A. MARTÍNEZ CORTIZAS, & E. GARCÍA-RODEJA GAYOSO, Coords. *Turberas de montaña de Galicia*. págs. 141-148. Colección Técnica. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO (MARM). 2011. Cuarto Inventario Forestal Nacional. Galicia. 49 págs. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Madrid.
- MISTCH, W. J. & GOSSELINK, J.G. 2000. *Wetlands*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, USA.
- MUÑOZ SOBRINO, C. 2001. *Cambio climático y dinámica del paisaje en las montañas del noroeste de la Península Ibérica*. 312 págs. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela.
- MUÑOZ SOBRINO, C., RAMIL-REGO, P., GÓMEZ-ORELLANA, L. & DÍAZ VARELA, R. 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas*, **34**: 381-400.
- PARGA PONDAL, I. & ALEXANDRE, T. 1966. La arenisca ortocuarcítica del Gistral, Lugo. *Notas y Comunicaciones del Insituto. Geológico y Miniero de España*, **87**: 59-90.
- PONTEVEDRA POMBAL, X., NÓVOA MUÑOZ J.C., GARCÍA-RODEJA GAYOSO E. & MARTÍNEZ CORTIZAS A. 2001. Composición y propiedades de las turberas de Galicia. In: A. MARTÍNEZ CORTIZAS & E. GARCÍA-RODEJA GAYOSO, Coords. *Turberas de montaña de Galicia*. págs. 129-139. Colección Técnica, Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

- RAMIL-REGO, P. 1992. *La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico*. Tesis Doctoral. 356 págs. Facultad de Biología. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- RAMIL REGO, P. & CRECENTE MASEDA, R. 2009. *Alto Miño-Terra Chá*. 157 págs. Fundación Comarcal Terra Chá. Lugo.
- RAMIL REGO, P., AIRA, M.J. & TABOADA CASTRO, T. 1994. Análisis polínico y sedimentológico de dos turberas en las Sierras Septentrionales de Galicia (NO de España). *Revue de Paléobiologie*, **12**(1): 9-28.
- RAMIL-REGO, P.; RODRÍGUEZ-GUITIÁN, M.A., HINOJO, B. DE NÓVOA, B., RUBINOS, M. SINDE, M., FERREIRO, J., GÓMEZ-ORELLANA, L., DÍAZ, R.A., MARTÍNEZ, S. & CILLERO, C. 2012. *Plan Director da Rede Natura 2000 de Galicia*. GARCÍA-BORREGÓN, R., FERNÁNDEZ, R. & BRIS, B., Dirs. VII Tomos. Dirección Xeral de Conservación da Natureza. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- RAMIL-REGO P., RODRÍGUEZ GUITIÁN, M.A. & MUÑOZ SOBRINO, C. 1996a. Distribución, génesis y caracterización botánica de las turberas ombrotóricas de Galicia. *XII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural Tomo extraordinario*, págs. 253-256.
- RAMIL-REGO P., RODRÍGUEZ GUITIÁN M.A. & RODRÍGUEZ OUBIÑA J. 1996b. Valoración de los humedales continentales del NW Ibérico: caracterización hidrológica, geomorfológica y vegetal de las turberas de las Sierras Septentrionales de Galicia. In: A. PÉREZ ALBERTI & A. MARTÍNEZ CORTIZAS, Coords. *Avances en la reconstrucción paleoambiental de las áreas de montaña lucenses*. Monografías G.E.P., **1**: 166-187. Deputación provincial de Lugo. Lugo.
- RAMIL-REGO, P.; RODRÍGUEZ GUITIÁN, M.A.; RUBINOS ROMAN, M.A.; FERREIRO DA COSTA, J.; HINOJO SÁNCHEZ, B.; BLANCO LÓPEZ, J.M.; SINDE VÁZQUEZ, M.; GÓMEZ-ORELLANA, L.; DÍAZ VARELA, R. & MARTÍNEZ SÁNCHEZ, S. 2005. La expresión territorial de la biodiversidad. Paisajes y Hábitats. *Recursos Rurais, Serie Cursos*, **2**: 109-128.
- RIO-MAIOR, H., ROQUE, S., NAKAMURA, M., PETRUCCI-FONSECA, F. & ÁLVARES, F. 2012. Los lobos y los parques eólicos ¿hay un problema? ¿y cómo enfocarlo?. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes*. págs. 19-19. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.
- RODRÍGUEZ GUITIÁN, M., RAMIL REGO, P., REAL RODRÍGUEZ, C., DÍAZ VARELA, R.A., FERREIRO DA COSTA, J. & CILLERO, C. 2009. Caracterización vegetal de los complejos de turberas de cobertor activas del SW europeo. In: F. LLAMAS GARCÍA, & C. ACEDO, Coords. *Botánica pirenaico-cantábrica en el siglo XXI*. págs. 633-654. Universidad de León. León.
- SIMÓN FERNÁNDEZ, X. & VÁZQUEZ MERÉNS, D. 2005. El fomento de la energía eólica en Galiza: una oportunidad perdida. In: *Jornadas de Política Económica. Universidade de Vigo*. Vigo. <http://webs.uvigo.es/viiijpe/pdf/SIMON-VAZQUEZ.pdf>
- TABOADA CASTRO T., RAMIL-REGO P. & AIRA M.J. 1995. Caracterización de una turbera de las Sierras Septentrionales gallegas. *Actas de la 3ª Reunión del Cuaternario Ibérico*, págs. 117-121. Coimbra.
- TAPIA, L., FONTÁN L., GARCÍA-ARRESE, A., NIETO, C. & MACÍAS, F. 2005. Metodología para la evaluación de los efectos sinérgicos generados por parques eólicos sobre la avifauna: un caso práctico en el LIC "Serra do Xistral" (Galicia; Noroeste de España). *Ecología*, **19**: 301-312.
- TOMÉ, R. 2012. Métodos para el seguimiento de rapaces y la reducción de riesgos en parques eólicos: una revisión. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes*. págs. 46-46. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.
- VÁZQUEZ, X. 2012. Conservación del aguilucho cenizo en parques eólicos en Galicia. In: A.R. MUÑOZ, Coord. *I Congreso Ibérico sobre energía eólica y conservación de la fauna. Libro de Resúmenes*. págs. 147-147. Fundación Migres. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Jerez de la Frontera.

