

# Grado en Biología

## Memoria del Trabajo de Fin de Grado

**Evolución histórica de los brezales húmedos en Galicia  
empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

**Evolución histórica das uceiras húmidas en Galicia  
empregando Sistemas de Información Xeográfica (SIX)**

**Historical changes of wet heathlands in Galicia by means of  
Geographic Information Systems (GIS)**



**Carlos Valentín Muñoz Barcia**

Julio, 2016

*Tutor(es) Académico: Jaime Fagúndez Díaz*

*Día de defensa: 27/07/2016*

Jaime Fagúndez Díaz, profesor del área de botánica del departamento de Biología animal, Biología vegetal y Ecología

INFORMA:

Que la presente memoria titulada “***Evolución histórica das uceiras húmidas en Galicia empregando Sistemas de Información Xeográfica (SIX)***”, presentada por **D. Carlos Valentín Muñoz Barcia** como Trabajo de Fin de Grado (TFG) en la titulación de grado en Biología, ha sido realizada bajo mi supervisión y cumple con los requisitos necesarios, por lo que AUTORIZO la presentación de dicho trabajo ante el tribunal correspondiente

Lo que firmo en A Coruña a 18 de julio de 2016

Fdo. Jaime Fagúndez D

# Índice

## Resumen / Summary

### Palabras clave

<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
1 Perspectiva Europea.....	1
2 Situación en Galicia.....	2
3 Uso de SIG, imágenes aéreas, bases de datos.....	2
4 Investigación actual.....	3
<b>Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>Material y métodos</b> .....	<b>4</b>
1 Área de estudio y comunidad diana.....	4
2 Trabajo previo.....	5
3 Diferencias en fotografías aéreas 1956 – 2008.....	5
4 Creación de mapas.....	6
5 Categorización de los usos del suelo.....	6
6 V-LATE.....	10
7 Análisis temporal.....	10
8 Análisis de datos.....	10
<b>Resultados</b> .....	<b>11</b>
1 Estado del brezal en 2008.....	11
2 Análisis temporal.....	11
3 Relación entre parámetros de la cobertura de brezal con variables físicas.....	17
<b>Discusión</b> .....	<b>19</b>
1 Datos sobre cobertura de brezal en 2008.....	19
2 Cambios en los usos del suelo 1956 – 2008.....	20
3 Correlaciones.....	21
4 Discusión metodológica y limitaciones del método.....	21
5 Excepciones.....	21
<b>Conclusiones</b> .....	<b>23</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>24</b>

## RESUMEN

Los brezales húmedos atlánticos europeos son un hábitat de interés para la conservación, que sufren un declive histórico y son actualmente objeto de protección. En Galicia no existen estudios sobre estos cambios históricos recientes, que contemplen las peculiaridades del paisaje rural gallego como la elevada dispersión de la población o los efectos de la concentración parcelaria. En este trabajo estudiamos la cobertura del brezal húmedo de *Erica mackayana* en Galicia en dos momentos (1956 y 2008) y a dos escalas de trabajo. Mediante la interpretación de ortofotografía aérea y herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica), se cuantificaron y analizaron los cambios en el uso del suelo y la cobertura y fragmentación del brezal. Los brezales pasaron de ocupar un 75% de la superficie en 1956 a un 46% en 2008. Aumentaron las manchas de frondosas autóctonas e infraestructuras, pero principalmente las repoblaciones forestales de un 1% a un 23% en el mismo periodo. Esto, unido a otros hechos como el aumento de la fragmentación del hábitat o la pérdida de diversidad, implican que la tendencia europea, de desaparición general de estos brezales, existe también en Galicia, por lo tanto es necesario establecer medidas para la conservación de estos ecosistemas, ligados a los usos tradicionales, que contrarresten los efectos negativos de los cambios socio-económicos en la conservación del hábitat.

## SUMMARY

The European Atlantic wet heathlands are priority conservation habitats that have undergone a historical decline and currently protected by European policies. In Galicia, no studies have dealt with these historical changes and the peculiarities of the region in terms of land consolidation and population density. In this project, we have studied land use cover of the Galician wet heaths dominated by *Erica mackayana* in two different moments (1956 and 2008) at two scales. By means of interpreting orthophotographs and GIS tools (Geographic Information System), land use changes were quantified and fragmentation and cover of heathlands was analysed. An important loss of heathlands (from 75% to 46% of occupation) and an increase of the tree plantations (from 1% to 23%) were the main changes recorded. Alongside with other processes like the increasing of fragmentation of the habitat and the loss of diversity, suggests that the trend of the habitat decline in Europe is also taking place in Galicia. Therefore, it is necessary to establish measures for the conservation of these ecosystems related to the traditional uses, to counteract the negative effects of socio-economic changes in the conservation of the habitat.

## PALABRAS CLAVE

Brezal, concentración parcelaria, paisaje, usos del suelo, cobertura, fragmentación, SIG, repoblación, conservación, diversidad específica.

## 1. Introducción

Los cambios en la cobertura del suelo están determinados por interacciones complejas entre factores ambientales y socio-económicos. El conocimiento de sus dinámicas puede ser útil para reconstruir los cambios históricos y para predecirlos en el futuro. Las prácticas de gestión sostenible permitirán preservar las funciones esenciales del paisaje (Hietel et al., 2004).

### *Perspectiva europea*

La distribución actual de los brezales europeos es el resultado de diferentes episodios de expansión y retroceso y recolonización reciente que probablemente ocurrió al final de la última glaciación (Fagúndez, 2013).

Aunque existen evidencias del uso humano de los brezales en el oeste de Europa desde la Era de Bronce (Fagúndez, 2013) desde hace aproximadamente 2000 años el uso tradicional ha sido similar, incluyendo diferentes tipos de pastoreo, extracción de turba, corte y recolección (para suministrar alimento al ganado en invierno) quemas periódicas para aumentar el rebrote y extracción de madera para usos diferentes como fabricar pipas de fumar o como fuente de carbón vegetal (Izco et al., 2006). Procesos derivados de estas prácticas, como por ejemplo, la fuerte lixiviación producida después de la tala de grandes áreas boscosas, dio lugar a la acidificación y empobrecimiento de los suelos, favoreciendo a los brezales. También ha sido demostrado que los sitios pastados por una combinación de herbívoros mejora la diversidad de plantas vasculares (Fagúndez et al., 2016).

Este tipo de paisaje se volvió dominante en muchos lugares del oeste y sur de Europa hasta la caída generaliza que comenzó alrededor de los últimos 400 años. La pérdida de biodiversidad en brezales templados está condicionada por varios factores (tabla 1). Los cambios en los usos del suelo, pueden aumentar la incorporación de N atmosférico, disminuyendo la riqueza específica de plantas, este efecto negativo, en los brezales, es de los más altos. El calentamiento global afectará a largo plazo, más a fases tempranas en recuperación de una alteración que a plantas maduras. En el paisaje tradicional europeo, los brezales son hábitats conformados por el hombre, que juegan un papel crucial con un fuerte valor cultural y natural extensamente reconocido. Los brezales incrementan sustancialmente muchos servicios del ecosistema, como comida y suministro de agua, secuestro de carbono, recreo, caza, paisaje y conservación de la biodiversidad (Fagúndez, 2013).

La conservación de los brezales ha cobrado importancia en las últimas décadas debido a un proceso general de pérdida de hábitat y degradación. Estos hábitats con sus reducidos organismos especialistas y relaciones complejas, se ven ahora amenazados. La Unión Europea considera a día de hoy que estos ecosistemas son de gran valor medioambiental e invierte muchos esfuerzos en su preservación con Planes de protección y restauración para contrarrestar los efectos de los factores que provocan pérdida de biodiversidad o afectan a la calidad del hábitat (Fagúndez, 2013).

Impactos	Efectos principales
<b>Cambios de uso del suelo</b>	La pérdida de hábitat ha sido descrita ampliamente en Europa, al igual que la fuerte fragmentación de las manchas de brezal restantes
<b>Especies invasoras</b>	Los brezales son invadidos con poca frecuencia pero en Europa han sido registradas algunas invasiones importantes con elevado coste económico y medioambiental.
<b>Cambio climático</b>	Afectará a la diversidad y estructura de los brezales oceánicos, debido al aumento de las temperaturas el cual favorecerá la expansión de más especies generalistas competitivas.
<b>Contaminación y eutrofización</b>	El aumento de la incorporación de N atmosférico y la eutrofización de los brezales templados, afectan negativamente a la germinación de semillas algo crucial para la composición de la comunidad. Aumentando las especies herbáceas sobre las arbustivas.
<b>Fuego</b>	El aumento del régimen de incendios, causa generalmente una regresión en la sucesión, aumentando la vegetación herbácea frente a los arbustos. Otros estudios recientes apoyan el efecto positivo que el fuego tiene al afectar a bosques que invaden brezales.
<b>Otros</b>	Sobreexplotación de recursos naturales, herbívoros, e interacciones que se produzcan entre todos los factores a nivel local.

Tabla 1 Descripción de algunos de los factores implicados en el declive actual de los brezales europeos.

#### *Situación en Galicia*

Aquí, diferentes tipos de brezales ocupan un gran porcentaje de área (Izco et al. 2006). El brezal húmedo atlántico *E. mackayana*, es una de las comunidades más importantes para conservar en la región y está reconocido por la directiva hábitat de la UE y por el gobierno de Galicia (Xunta de Galicia 2014). Estos brezales endémicos están influenciados positivamente por el pastoreo, en cuanto a biodiversidad y estructura de la vegetación (afecta a la altura e incrementa la heterogeneidad), mientras que los diferentes tipos de herbívoros también parece que influyen en la composición de la comunidad, aunque esta carga animal, si es excesiva, podría ser crítica para su conservación (Fagúndez et al., 2016). Según Miranda et al. (2005) el territorio gallego con una gran dispersión de la población, una economía agrícola tradicional dominante y una tradición histórica de herencia de la propiedad por subdivisión dentro de la familia, han ocasionado un grado de fragmentación elevado. Los planes de concentración parcelaria han sido un importante instrumento de desarrollo rural desde 1950, reduciendo el declive en el número de explotaciones activas y el número de parcelas en cada una de ellas. Esto contribuyó a preservar la actividad agrícola disminuyendo su transformación en repoblaciones forestales y estabilizando la población en las zonas rurales. Donde la concentración parcelaria no ha sido llevada a cabo ha aumentado más la tierra dedicada a repoblaciones (en particular, de especies forestales que son de rápido crecimiento y/o requieren un mínimo mantenimiento, como el eucalipto) a expensas de la agricultura. A partir de la mitad de la década de los 80 en adelante estos efectos no han sido tan claros debido a la adhesión a la UE y los cambios socioeconómicos experimentados en el rural.

#### *Uso de SIG, imágenes aéreas, bases de datos*

En sentido amplio el paisaje de un territorio se puede estudiar como la proyección espacial de sus ecosistemas (Roldán Martín et al., 2006), los cuales, se corresponden con manchas de diferentes usos del suelo y si pretendemos estudiar los cambios

temporales que hayan ocurrido es importante determinar una referencia histórica (Corrigan et al., 2010) pensamos que un enfoque a nivel de mancha proporciona de manera precisa una visión sobre los cambios del uso del suelo a largo plazo y explica cómo influye la configuración de un paisaje cultural sobre ecosistemas antropogénicos y sus dinámicas (Bender et al., 2005). El análisis de fotografías aéreas con sistemas de información geográfica, donde se integran mapas y bases de datos, ha resultado ser un método efectivo para mostrar y analizar datos espacio-temporales en diferentes escalas (Corrigan et al., 2010; Miranda et al., 2005). Estudios *multitemporales* o en nuestro caso *before-after*, basados en SIG, permiten un análisis preciso de la estructura histórica y desarrollo de los paisajes (Bender et al., 2005). Por lo tanto es una herramienta aplicable y adecuada para satisfacer las necesidades de este estudio y podría ayudar a la toma de decisiones en los planes paisajísticos y de conservación.

### *Investigación actual*

Las principales amenazas para los ecosistemas de brezales se conocen relativamente bien pero tenemos menos información disponible sobre cómo éstos efectos interactuarán y si lo harán de forma sinérgica, antagónica o si su confluencia dará lugar a un efecto acumulativo en situaciones futuras. La información sobre su evolución es también escasa, pero necesaria para la comprensión de los procesos actuales y sus posibles efectos en el futuro (Fagúndez, 2013).

Por ejemplo en Galicia la influencia de diferentes tipos de herbívoros sobre los brezales es un factor importante, en concreto, los caballos salvajes. Se sabe que éstos pueden ser beneficiosos para la conservación a largo plazo de estas comunidades, además han sido usados para eliminar la vegetación que crece en el sotobosque de plantaciones de pino cercadas y en brezales secos experimentales del norte de España. Sin embargo, estos experimentos controlados no tienen en cuenta factores como el comportamiento territorial, sex ratio, o presión de los predadores, los cuales son importantes para organizar las poblaciones de caballo salvaje y por lo tanto de su impacto en el ecosistema (Fagúndez et al., 2016). Por eso consideramos que en Galicia no existe mucha investigación sobre los factores de cambio de uso del suelo.

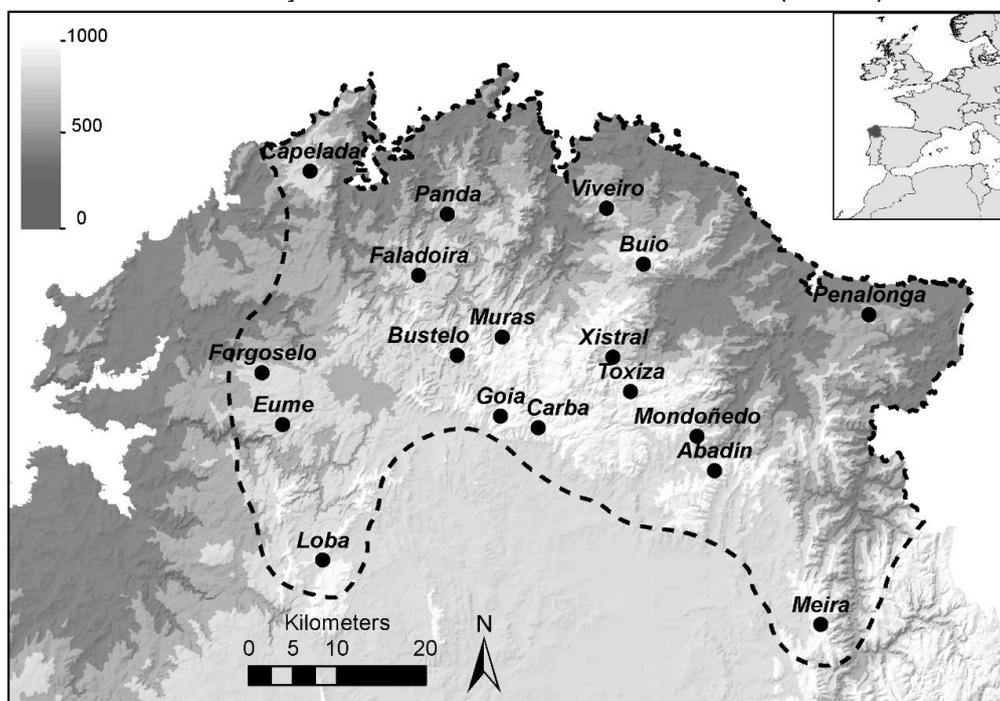
## **2. Objetivos**

- Entender el patrón espacial actual de la comunidad de brezales húmedos atlánticos de Galicia, en el contexto de la fachada atlántica europea y las consecuencias asociadas a su alteración.
- Evaluar la tendencia de desaparición de estos brezales, vegetación (tipos de hábitats y distribución) y factores de gran alcance en un horizonte temporal de 60 años. Analizar los procesos de transformación histórica de usos de suelo, caracterizarlos, e identificar las correlaciones existentes entre ellos y otras variables (físicas etc.).
- Proponer medidas de conservación del hábitat y desarrollar estrategias de gestión que sean compatibles con el funcionamiento de este ecosistema único formado por los brezales húmedos endémicos de Galicia.

### 3. Material y métodos

#### Área de estudio y comunidad diana

Los brezales húmedos atlánticos dominados por *E. mackayana*, están incluidos en 'Atlantic Wet Heathlands' un hábitat prioritario de la Directiva Hábitats (Código \*4020, 92/43/CEE; EC 2007), dentro de la región biogeográfica Atlántica Europea. De acuerdo con la clasificación de vegetación nacional española está incluida en la asociación, Gentiano pneumonanthes–Ericetum mackaiana dentro de la clase Calluno-Ulicetea (Izco et al., 1999; Rivas-Martínez, 2011). Esta comunidad está presente en toda la región cantábrica en el norte de España, desde Santander hacia el oeste de la provincia de A Coruña y desde el nivel del mar hasta 1000 m.s.n.m. con un óptimo situado entre 400 y 800 m (Fagúndez, 2006). El clima es templado híper oceánico con una precipitación elevada (>1500 mm), temperaturas suaves (10 °C-12 °C) y sin sequía estival. Los suelos son muy orgánicos, ácidos y pobres en nutrientes, desarrollados a partir de esquistos o rocas graníticas. Los puntos centrales de los sitios estudiados están localizados sobre zonas densas de arbustos, dominadas por brezos (*Calluna*, *Erica*) y tojo (*Ulex*). El uso tradicional es servir de pasto para herbívoros domésticos y salvajes, principalmente cabras, ovejas, caballos salvajes, ganado vacuno y para ello se siega y quema. Recientemente algunos de estos brezales han sido reemplazados por eucaliptos y plantaciones de pinos y por pastizales. Además amplias zonas están siendo afectadas por la sucesión natural como resultado del abandono de tierras y están cambiando a arbustos de *Cytisus* y *Genista* y a bosques caducifolios. (Fagúndez et al., 2016). Dentro del área de ocupación de este brezal en la comunidad gallega se seleccionaron 18 áreas que cubren la variabilidad existente en cuanto a situación altitud y uso del suelo (Mapa 1) (Fagúndez et al., 2016). Las zonas estudiadas discurren desde, 420 metros sobre el nivel del mar en Penalonga en el ayuntamiento de Barreiros en la provincia de Lugo, el sitio con menor altitud y también menor distancia hasta la línea de costa, 3.3 km, hasta Meira situada en el ayuntamiento homónimo también en Lugo situada a 763 m de altitud y a una distancia de 33.4 km del mar (tabla 2).



Mapa 1. Localización de las 18 zonas de brezal estudiadas en el norte de Galicia, noroeste de España (recuadro). El sombreado gris indica altitud. La línea discontinua indica la extensión aproximada de la presencia de *Erica mackayana* en Galicia (Extraído de Fagúndez, 2016).

Zonas de estudio	Localización	Clima y altitud					Vegetación	
	Ayuntamiento provincia	t enero	t julio	ppt verano	ppt total	altitud	total spp	Altura
Abadín	Abadín LU	5.8	17.2	143	1103	659	25	13
Buio	Valadouro LU	5.9	16.5	155	1158	675	16	21
Bustelo	Muras LU	6.5	16.7	152	1191	623	19	12
Capelada	Ortigueira CO	7.5	16.8	150	1169	475	21	24
Carba	Vilalba LU	5.7	16.6	153	1199	725	20	27
Eume	Pontes CO	6.9	16.8	151	1227	571	27	41
Faladoira	Ortigueira CO	6.8	16.8	150	1175	553	40	28
Forgoselo	A Capela CO	7.5	17.1	147	1193	486	18	28
Goia	Xermade LU	5.9	16.6	154	1209	709	26	30
Loba	Guitiriz LU	6.6	16.9	149	1244	623	17	45
Meira	Meira LU	5.0	17.2	140	1079	763	8	81
Mondoñedo	Mondoñedo LU	5.9	17.2	145	1108	642	17	16
Muras	Muras LU	6.0	16.4	156	1205	693	18	43
Panda	Ortigueira CO	7.3	17.1	149	1146	493	17	38
Penalonga	Barreiros LU	7.0	18.0	136	995	420	10	58
Toxiza	Alfoz LU	5.6	16.6	153	1167	718	22	17
Viveiro	Viveiro LU	7.2	17.3	145	1089	456	17	29
Xistral	Valadouro LU	5.9	16.7	151	1154	667	25	13

Tabla 2. Localización: CO: A Coruña; LU: Lugo. Clima y altitud: t enero : temperatura del mes más frío (Enero) en °C, t julio: temperatura del mes más cálido (Julio) en °C, ppt verano: Precipitación en los meses de verano (Junio, Julio y Agosto) en mm por cm<sup>2</sup>, ppt total: Precipitación anual en mm por cm<sup>2</sup>, altitud: Altitud expresada en m sobre el nivel del mar. Vegetación: total spp: especies con frecuencia alta (80% o más) en cada zona. Altura de la vegetación en cm. (Extraído de Fagúndez, 2016).

### *Trabajo previo*

Primero mediante el trabajo de campo se identificaron las comunidades y usos principales. Para tener una referencia a la hora de crear los mapas de la cobertura del uso del suelo para las 18 áreas de estudio. Éstas fueron marcadas con 18 puntos en zonas de brezal, los cuales señalarán el centro de cada sitio. La información de partida fue digitalizada en un sistema de información geográfica (SIG). Esta información consiste en 99 fotos aéreas del instituto geográfico nacional (IGN), con el Sistema Geodésico de Referencia ETRS89, 73 de ellas del año 2008 con una escala de 1:30.000 (PNOA50 plan nacional de ortofotografía aérea) y 16 de 1956 a 1:3200 en blanco y negro. Estas ortofotos están disponibles en el Centro nacional de información geográfica (<http://www.cnig.es>). Del instituto geográfico nacional también hemos usado el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), una base de datos de ocupación del suelo para Galicia con escala de referencia 1:25000 con actualizaciones a fecha de 2011 (<http://www.siose.es>).

### *Diferencias en fotografías aéreas 1956 - 2008*

Las ortofotos digitales de los vuelos PNOA de 2008 tienen un tamaño de píxel de 0.50 m. Al ser en color es más fácil de diferenciar los tipos de cobertura y el grado de homogeneidad de cada mancha. Las fotos de 1956 fueron descargadas de la fototeca digital del IGN y CNIG (<http://www.cnig.es>) que dispone de vuelos fotogramétricos del territorio desde el año 1930. Las ortofotos del PNOA histórico utilizadas aquí, provienen del escaneo de negativos tomados por el vuelo americano Serie B (1956-1957). Al

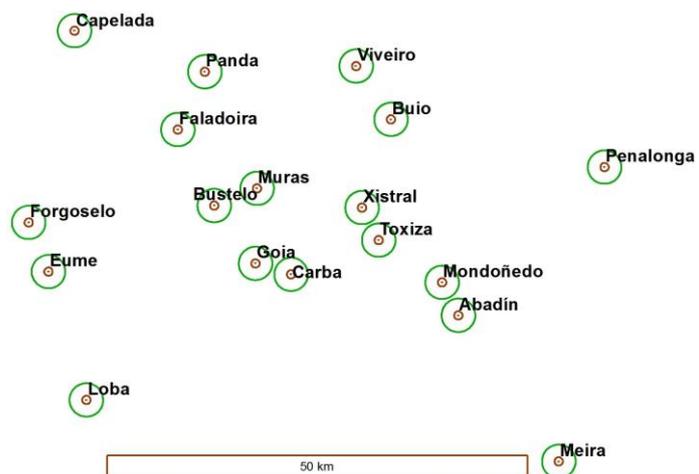
carecer de color, nos ayudamos de las fotos del 2008 en las mismas zonas y de las tomadas en el trabajo de campo, pero la dificultad de distinguir la heterogeneidad en las manchas hace que algunas categorías de la primera clasificación de 15 (tabla 3) se vean afectadas, por ejemplo, *replacación mixta* y *frondosas mixtas* que tienen poca representación. Escogemos imágenes de 1957 y 2008, ya que es el periodo en el cual ocurrieron cambios importantes en el uso del suelo (Calvo-Iglesias et al., 2006) además durante la segunda mitad del siglo 20 el abandono de la agricultura supuso un gran cambio en el paisaje debido a la despoblación del rural (Calvo-Iglesias et al., 2006), también coincide con la época en la que se introdujeron la mayoría de las plantaciones de eucalipto en el norte de España con la intención de producir pasta de papel (Manuel et al., 2002; Nuñez-Regueira et al., 2002). En Galicia, desde 1950, la concentración parcelaria ha sido el principal instrumento de desarrollo rural con una inversión anual de 30 millones de euros con el fin de intentar aumentar la productividad agrícola. (Crecente et al., 2002).

### Creación de mapas

Los mapas de cobertura del paisaje se elaboraron mediante ArcGIS 10.3 (ESRI, Redlands, CA, USA). A través de estos mapas de cobertura podemos describir digitalmente cada sitio. Se crearon capas independientes para cada momento (1956 y 2008) y para dos escalas (círculos de radio 500m y 2000m). Las escalas nos sirven para poder contrastar los, lo ideal sería realizar más escalas, para escoger aquella que más se adecue a nuestro estudio. Utilizamos como unidad espacial el polígono, que son las unidades espaciales más pequeñas de desarrollo uniforme de la cobertura y representan las manchas analizadas (Hietel et al., 2004) para ello a cada polígono se le asigna en una base de datos la categoría de uso de suelo que le corresponda.

Las imágenes de PNOA se descargaron en formato ráster, Y a partir de aquí comenzamos a trabajar con ArcCatalog (ArcGIS 10.3). Cargamos las ortofotos, las agrupamos según sean de 1956 o de 2008 (para poder cambiar fácilmente de un ráster a otro) y la capa de los 18 puntos de brezales (previamente marcada con un ordenador de campo provisto de GPS) en nuestro "datum" se corrige la proyección ortogonal. Y creamos un proyecto nuevo en ArcMap (ArcGIS 10.3)

Primero abrimos 2 capas de círculos y dibujamos los círculos de 500 m y 2000 m de radio en cada a partir de los 18 puntos centrales. Llegado este punto podemos pasar a elaborar nuestras 4 capas de polígonos vectoriales 2 para 1956 (1 para cada escala) y otras 2 para 2008.



### Categorización de los usos del suelo

Cada capa lleva asociada una tabla de atributos donde creamos los campos de: local (nombre de la zona de estudio a la que pertenece el polígono, por ejemplo Panda), vegetación (tipo de vegetación que abarca el polígono, por ejemplo pino), observaciones, categoría 5 y categoría 15 (ambas se usan para filtrar y agrupar el campo de vegetación) (tabla 3), así a cada nuevo polígono que creamos le podremos

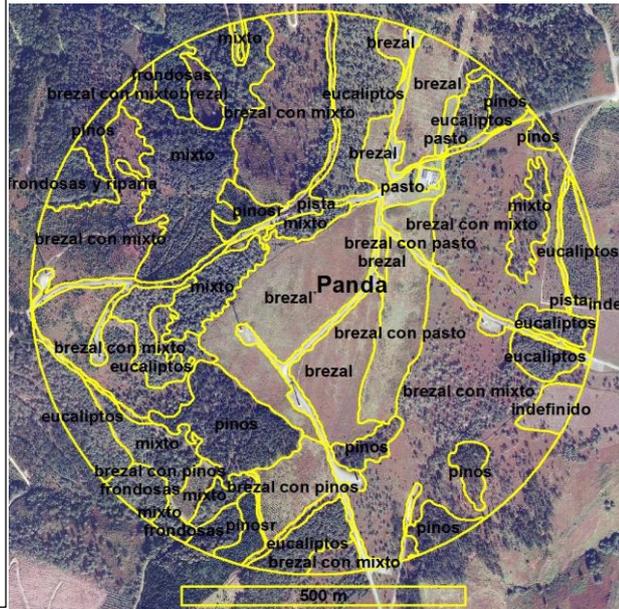
asignar información en cada uno de estos campos. En primera instancia etiquetamos cada polígono usando una clasificación de 15 categorías para el campo vegetación. Posteriormente esta clasificación fue reducida a 5: *brezal*, *frondosas*, *replantación*, *pastos* e *infraestructuras* (tabla 3). Lo que minimiza los posibles errores de interpretación y etiquetado de los tipos de cobertura del suelo (Hietel et al., 2004).

Para crear los polígonos tenemos que comenzar la edición de la capa seleccionada en este caso una de las dos de 2008 ya que presumiblemente tenga mejores fotografías aéreas y después trabajamos con las más antiguas, para ello dibujamos ayudándonos de una tableta digitalizadora y utilizando principalmente el comando "autocomplete *freehand*" con el que podemos cerrar polígonos haciendo avanzar el cursor por los bordes de las manchas que interpretamos como homogéneas en los patrones del paisaje.

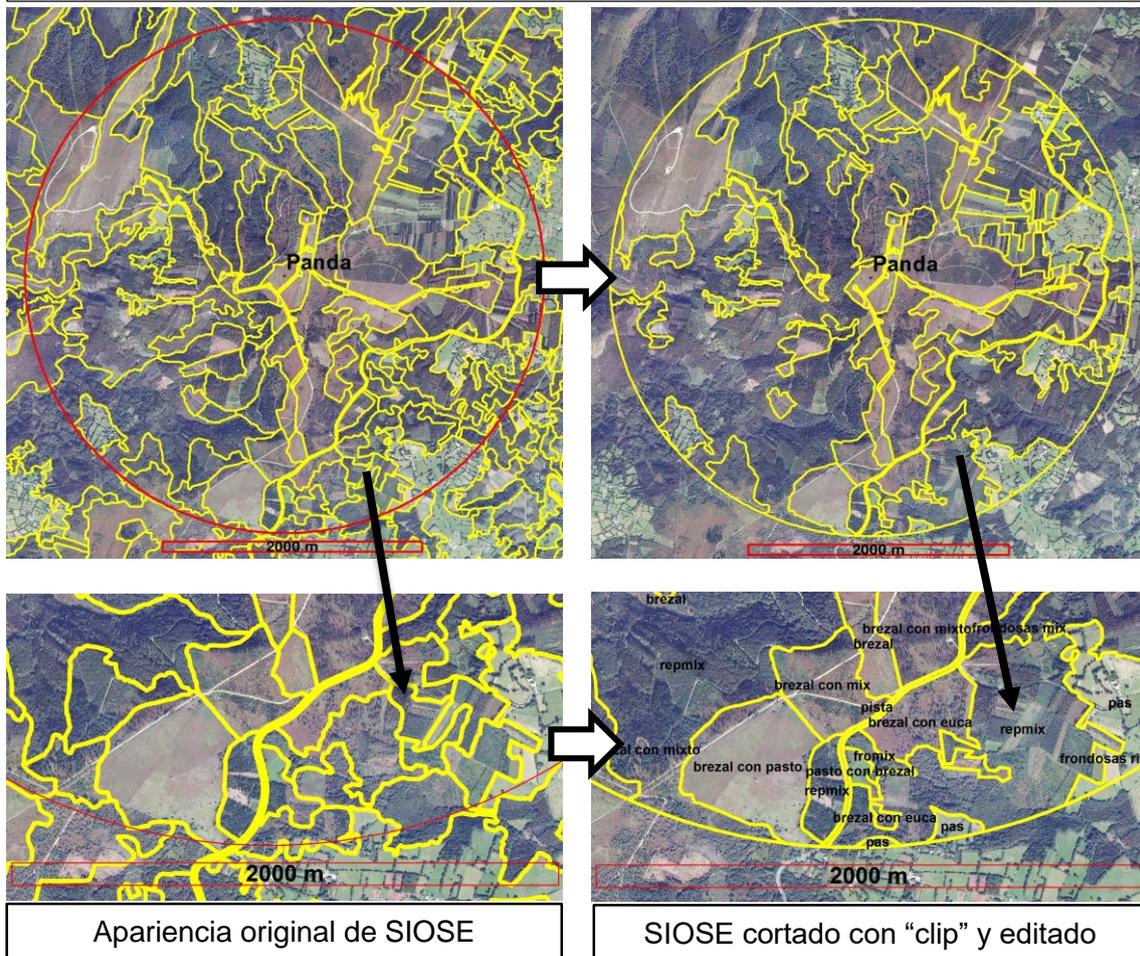
Para asegurarnos de que no quedan huecos (espacio no asignado a un polígono) dentro de cada zona de estudio, dibujamos de manera que los polígonos situados al borde de los círculos (que delimitan cada parcela) se superpongan a los polígonos adyacentes.

En el caso de que polígonos adyacentes pertenezcan a una misma clase podremos usar el comando "*merge*" para fusionarlos.

Una vez terminada la elaboración de los polígonos (que es la parte del método que ha llevado más tiempo ya que se interpretaron uno a uno asignándoles la información correspondiente) usamos el comando “clip” que crea una capa nueva a partir de la intersección de otras dos previamente seleccionadas, es decir que si cortamos las capas con polígonos que son las que utilizamos como base, con una capa de círculos, la nueva capa contendrá sólo la información del interior de los círculos que es la que nos interesa. Repetimos este proceso de “cortado” con las 4 capas.



Por otro lado hay que tener en cuenta que en la capa de la escala de 2 km de radio del 2008 se usó la base de datos SIOSE ya que sus polígonos dividen geoméricamente el territorio y cada uno tiene asignado un tipo de cobertura. Aunque estos polígonos y sus etiquetas tuvieron que ser editados con el mismo criterio de clasificación de tipos de cobertura que usamos en el resto de capas.



Apariencia original de SIOSE

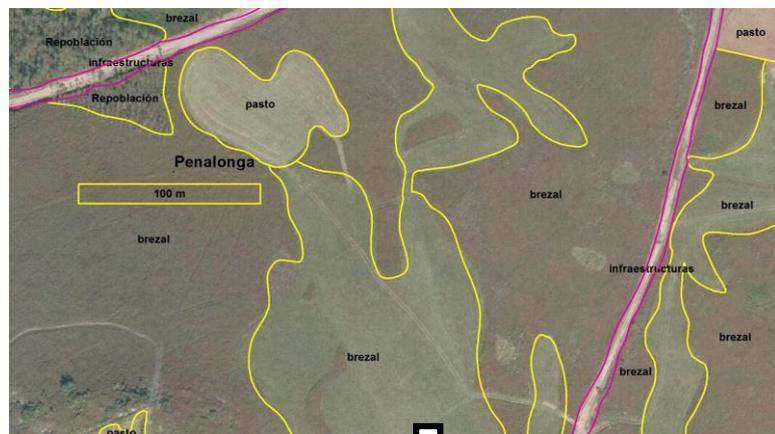
SIOSE cortado con “clip” y editado

Después tenemos que pasar un filtro a las etiquetas del campo de vegetación para que todas estén homogenizadas en las 5 categorías que hemos decidido estudiar (tabla 3).

Clasificación final	Categorías de la clasificación inicial de 15 que se incluyen	Usos dominantes
<b>Brezal</b>	<i>Brezal, brezal con roca y brezal desbrozado</i> , y también polígonos de <i>pasto arbustivo</i> y <i>brezal con arbolado</i> en los que domine el brezal sobre el pasto y árboles respectivamente.	Zonas de cobertura arbustiva ( <i>Ulex, Genista, Cytisus, Erica, Calluna, etc.</i> )
<b>Frondosas</b>	<i>Robleda, frondosas de ribera y frondosas mixtas</i> además de polígonos de <i>brezal con arbolado</i> con mayoría de caducifolias.	Bosque nativo, de ribera y mezclas de diferentes especies de frondosas
<b>Repoblación</b>	<i>Pinos, eucalipto y repoblación mixta</i> y también <i>brezal con arbolado</i> donde haya mayoría de repoblación forestal.	Repoblaciones plantaciones y bosques de coníferas y/o eucaliptos
<b>Pastos</b>	Prado y <i>pasto arbustivo</i> en los que la mayor parte de la cobertura esté formada por herbáceas.	Todas aquellas zonas de pradera y cultivos.
<b>Infraestructuras</b>	<i>Rocas, infraestructuras y rocas con brezal</i> con mayoría de roca.	Carreteras, pistas, rocas, edificios, canteras, desbroces .

Tabla 3 Categorías finales, categorías incluidas de la clasificación original de 15 y observaciones sobre los usos del suelo de cada grupo.

Con el etiquetado ya terminado, utilizamos el comando “*dissolve*” para resolver un problema que viene dado porque algunos polígonos, los cuales anteriormente estaban clasificados con diferente etiqueta, ahora pueden tener la misma y si además, éstos son limítrofes, proporcionarían datos erróneos sobre el número de manchas y por lo tanto sobre la fragmentación del uso del suelo. Para resolverlo el software nos permite fusionar estos polígonos de forma que se corrija la base de datos.

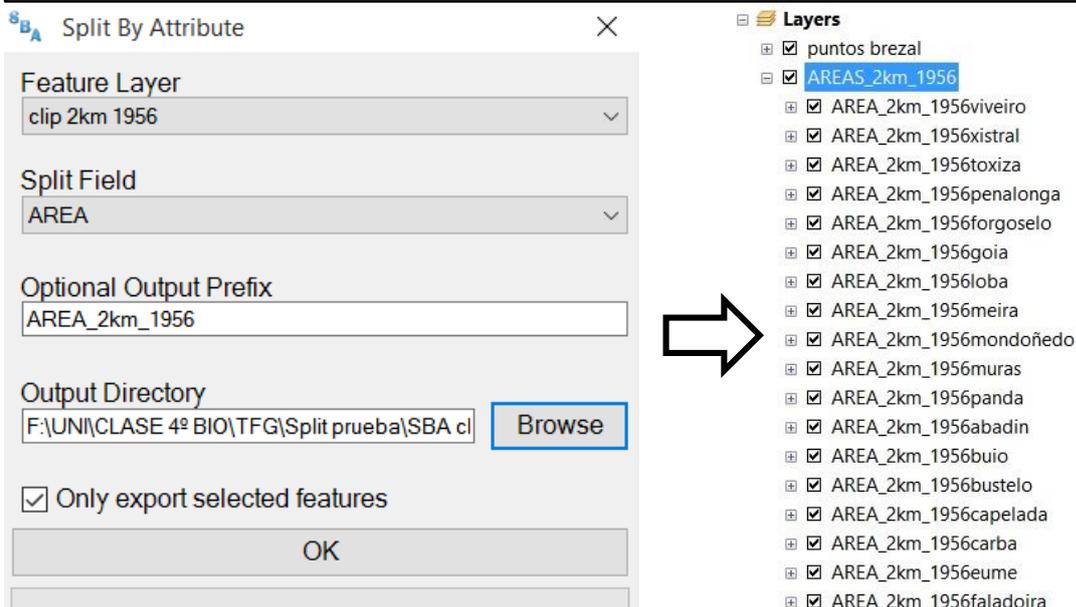


Sin “*dissolver*”.



Con los polígonos “*disueltos*”.

El penúltimo paso es utilizar la extensión de ArcMap “*Split by attribute*” para separar una capa según el campo deseado, en este caso AREA, que genera nuevas capas dependiendo de la zona de estudio asignada a cada polígono. De este proceso, surgen en total 72 nuevas capas, resultantes de las cuatro capas de partida (de ambas escalas y años) divididas cada una, en 18, una para cada zona de estudio.



Ejemplo de “*Split by attribute*” para la capa de 2km de radio del año 1956.

Esta separación es necesaria para poder discernir entre zonas una vez obtengamos los resultados.

### V-LATE

Finalmente para describir la forma del patrón del paisaje, los porcentajes de superficie ocupada por cada tipo de cobertura y para determinar la fragmentación, usamos la herramienta V-LATE 2.0 (Vector-based Landscape Analysis Tools extension) (Dirk Tiede 2003). Es una extensión para ArcGIS 10 que proporciona un conjunto seleccionado de las métricas de ecología del paisaje más comunes (área, forma, bordes, proximidad, diversidad y análisis de subdivisión).

### *Análisis temporal*

Comparamos Los datos de porcentaje de superficie ocupada, número de manchas y tamaño de medio de mancha, proporcionados por V-LATE de 1956 con los de 2008 en ambas escalas. Primeramente nos centramos sólo en los cambios en la superficie de cobertura de brezal analizando los resultados obtenidos individualmente para las parcelas del año 1956 con las del 2008, después estudiamos conjuntamente el resto de las categorías del mismo modo.

### *Análisis de datos*

Toda esta información se puede exportar a Excel para poder correlacionar categorías de cambio con variables físicas con SPSS como son la altitud o la distancia al océano (5 151) con el coeficiente de correlación de Pearson. También realizamos pruebas de la t, comparando medias de 1956 y 2008, comprobando previamente con el test de Kolmogorov-Smirnov si existe normalidad en los análisis.

## 4. Resultados

### Estado del brezal en 2008

En total se crearon 3047 manchas de cobertura de suelo de las 15 clases diferentes para los 18 sitios incluyendo las dos escalas de superficie de trabajo (500 m y 2 km), cubriendo una superficie total de 48066 hectáreas. Para tener una visión del estado actual de las zonas de estudio, nos centramos en las parcelas de 2km de radio del año 2008. De acuerdo con el porcentaje de superficie (Gráfico 1 A), la categoría brezal domina claramente con un 46% de ocupación con un total de 10382.8 ha, casi un cuarto de la superficie la abarcan repoblaciones forestales, un 19% pastos y en menor proporción frondosas e infraestructuras con 10% y 2% respectivamente.

Para el número de manchas en porcentajes (Gráfico 1 B) observamos que el 28% y 27% de las manchas son de pastos con 273 y repoblación, 255. Esto contrasta con la categoría brezal que ocupando el doble de superficie lo hace con menos manchas, 182 pero de mayor tamaño en comparación con el resto, por otro lado frondosas cuenta casi con el mismo número de manchas 167 a pesar de ocupar mucha menos superficie, está formada por polígonos más pequeños (tabla 4).

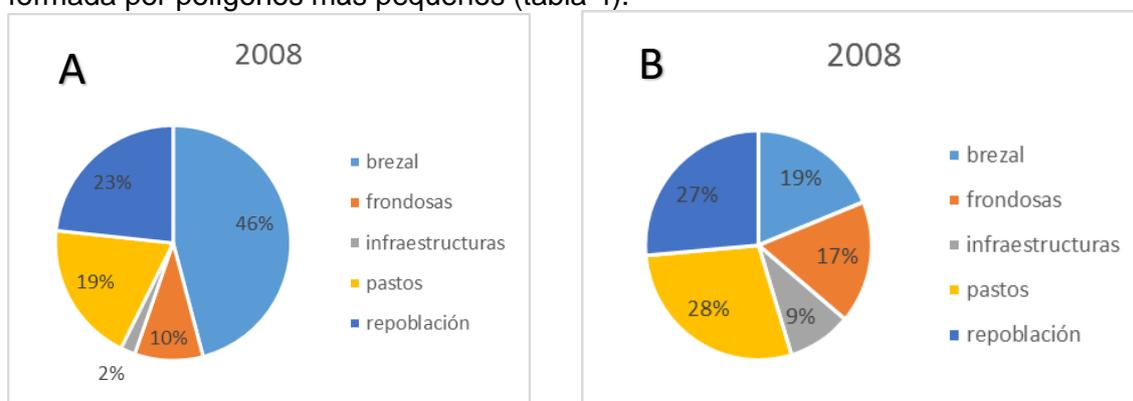


Gráfico 1 (para parcelas de 2km de radio del año 2008). A: Superficie ocupada para cada tipo de cobertura en porcentajes. B: Porcentaje de número de manchas por categoría.

	Número total de manchas		Tamaño medio por mancha	
	1956	2008	1956	2008
<b>Brezal</b>	97	182	53255894,67	12999563,28
<b>Frondosas</b>	230	167	972296,06	2383544,49
<b>Repoblación</b>	45	255	243008,31	3772234,13
<b>Pastos</b>	193	273	6727797,49	3005904,93
<b>Infraestructuras</b>	58	88	174944,83	1125970,68

Tabla 4 Número de manchas y tamaño medio de mancha en m<sup>2</sup> para cada categoría y año en parcelas de 2km de radio.

### Análisis temporal

En la categoría de *brezal* comenzando por la escala menor (500m de radio) (Gráfico 2 A) apreciamos como la superficie total de brezal se ve reducida en todas las zonas estudiadas, siendo el caso de Capelada donde se produce el mayor descenso, 52.6 ha

entre el 1956 y el 2008 y Bustelo donde más se mantiene, sólo se reduce en 2.4 ha. En cuanto a la escala de radio mayor (2 km). Lo mismo sucede con las parcelas de menor tamaño, con un descenso generalizado y de una proporción similar en la cobertura de suelo tipo brezal (gráfico 2 B). Sigue destacando Capelada con una diferencia de 653.2 ha menos en 2008 y Carba que pierde 57.3 ha y es el lugar con una menor reducción de superficie arbustiva.

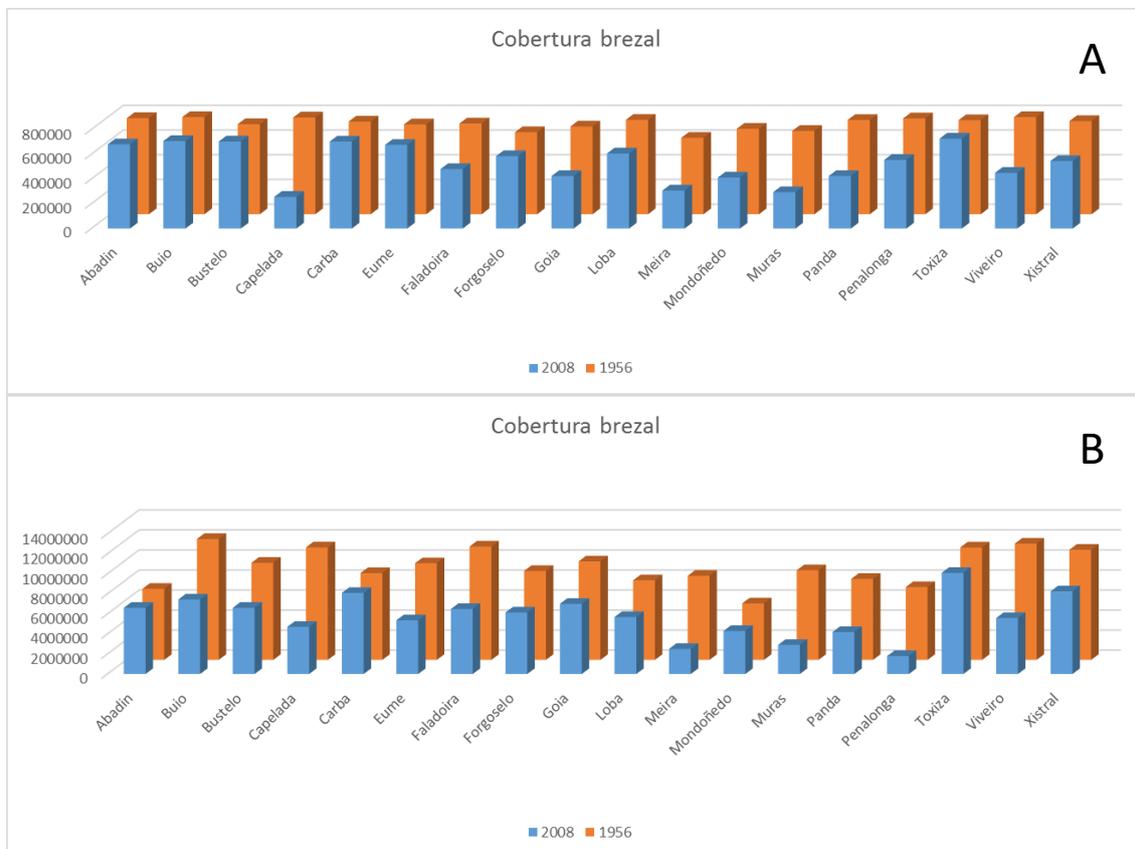


Gráfico 2. Resultados comparados de cobertura de brezal para los años 1956 y 2008 en m², por parcela. A: de 500 m de radio y B: de 2km.

Los resultados para el resto de las categorías de las 18 parcelas de 500m de radio en el año 1956 se caracterizan por un gran dominio porcentual de la categoría *brezal* donde 12 sitios pasan de 90% y todos del 75%, en Capelada, tenemos un 99% de este tipo de cobertura y en la que menos hay, Meira, un 78%. Respecto a *infraestructuras* aparece en todas las áreas de estudio menos en 2 pero con poca relevancia excepto en Meira, 18% y Forgoselo, 15%, *pastos* tiene presencia en 9 zonas con un máximo de 10% en Mondoñedo, mientras que *frondosas* sólo está en 7, sin llegar, Goia al 10%. En el 2008 constatamos la reducción en la superficie de brezal pero éste sigue siendo dominante en la cobertura con un porcentaje mayor del 50% en todas las zonas excepto Capelada Meira y Muras con un 32%, 39% y 37% respectivamente. Aquí también destaca Capelada, en este lugar observamos que la reducción en la cobertura de *brezal*, anteriormente mencionada, dejó un espacio que mayoritariamente fue ocupado por cobertura del tipo *pastos* pasando de 0% a 51%. *Pastos* también es la categoría que más aumenta en muchas otras zonas, siendo notable este aumento en Mondoñedo de 10% a 40% y Faladoira de 4% a 30%. También vemos el aumento de cobertura del tipo *replacación* en 15 de las 18 localizaciones destacando Goia, Panda y Muras, irrumpiendo en las tres, yendo desde el 0% al 34%, 33% y 26% respectivamente. En cuanto a la categoría de *frondosas* aparece en 15 sitios en el 2008 frente a los 7 en que aparecían en 1956. *Infraestructuras* ya está presente en casi todas las parcelas de 1956 y pasa a estar en todas aumentando moderadamente su porcentaje de superficie

excepto en Meira donde es más del doble, se duplica, aumentando de un 18% a un 41%. Los porcentajes en la escala mayor (2km) siguen la misma tendencia (gráfico 4), en 1956 la cobertura tipo *brezal* domina, ya que, sólo Mondoñedo tiene menos del 50% (44%) mientras que en Buio hay un 96%. Esta dominancia no es tan alta como en la escala de 500 m. La segunda categoría de cobertura en ocupar más parcelas y más porcentaje de la superficie total es *pastos* que en el caso de Mondoñedo domina con un 51% y le siguen Abadín y Loba con 42% y 36%. *Frondosas* aparece en todos los sitios con poca representación, pasando escasamente del 10% en Goia, Forgoselo y Bustelo (11%, 11% y 10% respectivamente). En un tercio de las parcelas tenemos presencia del tipo cobertura *repoblación* destacando únicamente en Penalonga con un 25% mientras que *infraestructuras* aparece en 7 de las 18 localizaciones sin llegar al 1% en ninguna de ellas.



Gráfico 3. Superficie en tanto por cien para todas las categorías, en parcelas de 500 m de radio, en ambos años.



Gráfico 4. Superficie en tanto por cien para todas las categorías en parcelas de 2km de radio en ambos años.

Para el 2008 la categoría *brezal* disminuye en todas las áreas de estudio, también en esta ocasión es en Capelada donde más se acentúa esta reducción con un 52% menos mientras que el valor mínimo observado para esta clase está en Penalonga con 14%. Aumenta su porcentaje a la vez que se producen grandes cambios en la categoría de *repoblación* como por ejemplo en Panda donde se pasa de 0 al 50% incluso llegando al 60% en Penalonga y por otro lado no llega al 2% ni en Abadín ni Carba. *Pastos* sigue teniendo presencia en todas las parcelas creciendo en la mitad de ellas como por ejemplo Viveiro yendo de 0% a 27% pero disminuyendo en la otra mitad aunque no tanto, Panda que es la que más se reduce pasa de un 33% a 9%, por otro lado el valor máximo es Mondoñedo que no supera la mitad de ocupación de la cobertura, 46%. También tenemos la categoría *Frondosas* aumentando en todas las áreas de 2008 menos en Penalonga y sin pasar en ninguna del 25%, Goia 23%, infraestructuras también está presente en todas pero sin superar en ningún caso el 1%.

Se llevó a cabo un análisis, una prueba de la t, comparando medias de 1956 y 2008 dividida en dos bloques independientes según la escala (radio 500 m y 2000 m). Esto se realiza para cada categoría, comparando antes y después las 3 variables estudiadas,

que son: porcentajes de área, número de manchas y área media por mancha. Las dos primeras al hacerles el test de Kolmogorov-smirnov, no cumplían la distribución normal por lo que se ha realizado para el porcentaje de área una transformación arcoseno ( $b = \arcsin \sqrt{x}$ ), estándar para datos porcentuales, es decir el arcoseno de la raíz del valor y para el número de manchas una transformación logarítmica ( $b = \ln(1+x)$ ).

Los primeros resultados, centrándonos únicamente en las manchas de *brezal* (tabla 5), muestran que todas las variables tienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). En las parcelas de 2000 m de radio, el porcentaje de área *brezal* disminuye una media de 31.8% entre 1956 y 2008, el número de manchas aumenta (media de 4.7), y el área media por mancha es menor con una media de 223.6 ha menos. Los resultados y la tendencia es la misma en el bloque de 500 m de radio: el porcentaje de área de *brezal* se reduce un 36.7%, el número de manchas aumenta con una media de 5 y el tamaño medio de las manchas también disminuye de manera proporcional (32.5 ha).

Diferencias relacionadas				
Escala	Pares	Media	t	Significancia bilateral
<b>2000m</b>	% de área del 56/08 transformado	,28683520	7,729	,000
	Nº de manchas 56/08 transformado	-4,722	-2,428	,027
	Tamaño medio por mancha 56/08	2236462,855	4,592	,000
<b>500m</b>	% de área del 56/08 transformado	,26104960	6,053	,000
	Nº de manchas 56/08 transformado	-5,000	-6,007	,000
	Tamaño medio por mancha 56/08	325306,63	5,285	,000

Tabla 5. Prueba de la t para la categoría *brezal* separada para las dos escalas (500m y 2000m) donde se comparan medias de 1956 y 2008 para las variables de porcentaje de área, número de manchas y tamaño medio de mancha en m<sup>2</sup>.

En las otras 4 categorías (tabla 6), los resultados, de acuerdo al porcentaje de área, son muy semejantes en ambas escalas y además aportan diferencias significativas en todas excepto en pastos ( $p > 0.05$ ) en la escala mayor. Por ejemplo (para las de 2000 m), en el caso de *repoblación* se produce un incremento considerable del 21,7% de media, también *frondosas* aumenta su porcentaje de área con un 5,6% más, y se incrementa un 1% el porcentaje de *infraestructuras*. Destaca *pastos* que tiene un marcado efecto de escala siendo nada significativo en las de 2000 m de radio ( $p = 0.88$ ) y mientras que en la escala inferior existen grandes diferencias ( $p = 0.00$ ). En cuanto al número de manchas no tenemos la misma tendencia, ya que, por ejemplo en la escala mayor el número de manchas de *frondosas* no muestra diferencias significativas ( $p = 0.16$ ) mientras que aumenta en parcelas más pequeñas en las que sí existen ( $p = 0.01$ ) y en *infraestructuras* no encontramos diferencias significativas en ninguno de los bloques.

Si nos fijamos en el área media por mancha, no encontramos diferencias significativas ni para *frondosas* ni *pastos* en la escala de 500 m, *frondosas* aumenta el tamaño medio por mancha en ambas escalas 7,8 ha ( $p > 0.05$ ) en la grande 0,2 en la pequeña, por otro lado *pastos* tiene diferencias significativas por la reducción del tamaño medio de mancha en la escala mayor ( $p = 0.16$ ).

Escala	Categorías	Diferencias relacionadas			Significan- -cia bilateral
		Pares	Media	t	
2000m	frondosas	% de área del 56/08	-,0561500216	-4,587	,000
		Nº de manchas 56/08	3,500	1,447	,166
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-78402,690555	-2,660	,016
	infraestructuras	% de área del 56/08	-,01646366245	-6,459	,000
		Nº de manchas 56/08	-1,667	-1,328	,202
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-52834,769444	-5,608	,000
	pastos	% de área del 56/08	,00352538437	,151	,882
		Nº de manchas 56/08	-4,444	-2,166	,045
		Tamaño medio/ mancha 56/08	206771,80888	2,694	,015
	replantación	% de área del 56/08	-,2177469065	-6,552	,000
		Nº de manchas 56/08	-11,667	-5,486	,000
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-196068,10111	-5,674	,000
500m	frondosas	% de área del 56/08	-,01293714214	-2,028	,059
		Nº de manchas 56/08	-1,889	-2,878	,010
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-2391,1066666	-1,541	,142
	infraestructuras	% de área del 56/08	-,04129883411	-2,993	,008
		Nº de manchas 56/08	3,222	1,188	,251
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-16579,620555	-3,458	,003
	pastos	% de área del 56/08	-,11759633162	-3,302	,004
		Nº de manchas 56/08	-3,333	-4,793	,000
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-10633,790000	-1,857	,081
	replantación	% de área del 56/08	-,08921729876	-3,417	,003
		Nº de manchas 56/08	-10,667	-4,445	,059
		Tamaño medio/ mancha 56/08	-8075,8077777	-2,714	,010

Tabla 6. Prueba de la t para el resto de categorías separada para las dos escalas (500m y 2000m) donde se comparan medias de 1956 y 2008 para las variables de porcentaje de área, número de manchas y tamaño medio de mancha en m<sup>2</sup>.

### Relación entre parámetros de la cobertura de brezal con variables físicas

Para estudiar la relación entre los cambios temporales en la cobertura del suelo del tipo *brezal* y las variables continuas de altitud y distancia al mar, analizamos las correlaciones (coeficiente de correlación de Pearson) entre éstas y las variables dependientes (porcentaje de área de brezal, número de manchas y área media por mancha) divididas por años en las dos escalas.

Como resultado obtenemos que la correlación es muy alta entre altitud y distancia al mar ( $R^2 = 0.91$ ) ( $p < 0.01$ ) (Tabla 7).

		Costa
Altitud	Correlación Pearson	,912**
	Sig. (bilateral)	,000

Tabla 7. Correlación entre, Altitud: distancia desde los puntos centrales de cada parcela y Costa: distancia más corta desde el punto central de cada parcela hasta el mar, en línea recta.

Desde el punto de vista de la escala de 500 m de radio (tabla 8) y basándonos en las variables de 1956, vemos que están negativamente correlacionadas con la distancia al mar, tanto el porcentaje de área de brezal ( $R^2 = -0.943$ ) como el tamaño medio de mancha ( $p = -0.503$ ) ambas con significancia a nivel ( $p < 0.05$ ). Esto es, que en el año 1956 había menos superficie de brezal a medida que nos acercamos a la costa mientras que esto no pasa en el 2008. Para la escala de 2 km no se detecta ningún cambio significativo (tabla 9).

Escala		Altitud	Costa	
500 m	Porcentaje de área 56	Correlación Pearson	-,368	-,493*
		Sig. (bilateral)	,133	,038
	Número de manchas 56	Correlación Pearson	,380	,571*
		Sig. (bilateral)	,120	,013
	Área 56	Correlación Pearson	-,368	-,493*
		Sig. (bilateral)	,133	,038
	Tamaño medio mancha 56	Correlación Pearson	-,361	-,503*
		Sig. (bilateral)	,141	,033
	Porcentaje de área 08	Correlación Pearson	,157	,121
		Sig. (bilateral)	,535	,632
	Número de manchas 08	Correlación Pearson	,351	,446
		Sig. (bilateral)	,153	,063
	Área 08	Correlación Pearson	,157	,121
		Sig. (bilateral)	,535	,632
	Tamaño medio mancha 08	Correlación Pearson	-,065	-,162
		Sig. (bilateral)	,798	,520

Tabla 8. Correlación entre las diferentes variables: Porcentaje de área, Número de manchas, Área y Tamaño medio mancha de la cobertura *brezal* del total de las 18 parcelas de 500 m de radio para cada año y variables físicas: Altitud: distancia desde los puntos centrales de cada parcela y Costa: distancia más corta desde el punto central de cada parcela hasta el mar, en línea recta.

Escala			Altitud	Costa
2000 m	Porcentaje de área 56	Correlación Pearson	-,033	-,237
		Sig. (bilateral)	,898	,344
	Número de manchas 56	Correlación Pearson	-,157	-,077
		Sig. (bilateral)	,533	,761
	Área 56	Correlación Pearson	-,033	-,237
		Sig. (bilateral)	,898	,344
	Tamaño medio mancha 56	Correlación Pearson	-,031	-,090
		Sig. (bilateral)	,903	,723
	Porcentaje de área 08	Correlación Pearson	,371	,266
		Sig. (bilateral)	,130	,286
	Número de manchas 08	Correlación Pearson	,064	-,050
		Sig. (bilateral)	,801	,842
	Área 08	Correlación Pearson	,371	,266
		Sig. (bilateral)	,130	,286
	Tamaño medio mancha 08	Correlación Pearson	,127	,116
		Sig. (bilateral)	,615	,646

Tabla 9. Correlación entre las diferentes variables: Porcentaje de área, Número de manchas, Área y Tamaño medio mancha de la cobertura *brezal* del total de las 18 parcelas de 2000 m de radio para cada año y variables físicas: Altitud: distancia desde los puntos centrales de cada parcela y Costa: distancia más corta desde el punto central de cada parcela hasta el mar, en línea recta.

## 5. Discusión

El brezal es un ecosistema dinámico con episodios recurrentes de alteración tales como cambios de gestión del suelo o incendios (Fagúndez, 2013). Está reconocido que una intervención humana moderada es necesaria en estos sistemas para garantizar su persistencia y conservación (Wallis De Vries, 1995;). Interpretar estos cambios y la distribución del paisaje en el pasado sólo es posible con datos históricos y mapas georeferenciados con cierta exactitud (Cousins, 2001). Últimamente los análisis de cambios de cobertura de uso de suelo a escala local basados en datos adquiridos por la interpretación visual de fotografías aéreas parecen ser de gran importancia (Skånes et al., 1997). Nuestras unidades de análisis son manchas homogéneas de cobertura del suelo. Así que pueden proporcionar un enlace directo al administrador de tierras, así como para la toma de decisiones sobre los cambios en los usos del suelo (Irwin et al., 2001).

### *Datos sobre cobertura de brezal en 2008*

Gracias a los resultados obtenidos podemos hacernos una idea del estado actual de las zonas de estudio y por lo tanto del estado de la comunidad objetivo. Los brezales húmedos atlánticos siguen mostrando clara dominancia aunque no llegan a ocupar la mitad de la superficie total analizada, debido a que tenemos otros usos del suelo, ya sea, mayoritariamente gestionados (replantaciones de pino y eucalipto, pastos y cultivos) o en menor medida naturales (regeneración de bosques de frondosas y vegetación riparia), coincidiendo en esto con los brezales existentes en la actualidad en toda Europa (Vaitch et al., 1995; Piessens et al., 2006). Aunque en menor grado que otros países como Bélgica donde solamente permanece el 1% del área que ocupaban los brezales en 1775 (Piessens et al., 2004) y en Inglaterra sólo queda un 16% de las extensiones de brezal de tierras bajas que había al comienzo del siglo XIX. Puede que la pérdida no haya sido tan drástica, ya que los brezales todavía cubren grandes extensiones en áreas montañosas del este, centro y norte de Galicia (Fagúndez et al., 2016) varios factores han podido contribuir a que se mantengan como que se hayan conservado alguno de los usos tradicionales por ejemplo el tipo de pastoreo extensivo. Los caballos salvajes son los principales herbívoros de estas sierras, éstos comparten las zonas donde pastan con ganado local. Aunque su rol ecológico no es muy conocido, existen pruebas de que los caballos salvajes previenen la transformación de los brezales en bosques. En base a nuestros resultados la fragmentación del brezal actual no es muy elevada (19% del total de las manchas) si la comparamos con otros hábitats como pastizales y replantaciones que presentan casi un 10% más, además el tamaño medio por fragmento de brezal es mayor, sin embargo, la fragmentación podría provocar una pérdida de la diversidad genética en un paisaje muy fragmentado en el que las poblaciones estén aisladas además del obvio efecto en la reducción general del área de brezal, por lo tanto la fragmentación y el aislamiento son aspectos clave en su conservación. Por otro lado, la diversidad específica y la calidad del hábitat de las manchas de brezales, como regla general, dependen poco o nada del tamaño de la mancha, siempre y cuando se mantengan los factores ambientales, principalmente las propiedades del suelo (Fagúndez, 2013). Ya que, para la mayoría de las especies dominantes en los brezales como *Calluna* o *Erica* es característico tener un banco de semillas persistente en el suelo (Thompson et al., 1997). Por lo tanto la comunidad de plantas de los brezales es muy resistente a la fragmentación con una baja pérdida de diversidad (Piessens et al., 2005). En cambio, se produce un importante efecto borde que puede variar la distribución de las especies y las propiedades del suelo (eutrofización) a medida que nos acercamos al límite con otro tipo de uso del suelo, como por ejemplo *Calluna*, cuya presencia se reduce hacia los bordes, además la relación planta-insecto también se ve afectada por la fragmentación (Fagúndez, 2013).

### *Cambios en los usos del suelo 1956 - 2008.*

El descenso generalizado del área que ocupan los brezales en Europa templada durante los dos últimos siglos ha sido ampliamente evidenciado, esta reducción tiene como principales causas los cambios de uso de suelo relacionados con la revolución industrial, desarrollo urbanístico y la intensificación de las prácticas agrícolas y forestales. Ahora bien la sustitución general de los usos tradicionales, ha tenido lugar recientemente (Fagúndez, 2013). Y tenemos evidencias de que los procesos de transformación por repoblaciones o creación de pastos están ocurriendo (Teixido et al. 2010). Los resultados muestran una reducción importante del área de brezal y del tamaño medio de mancha, así como el aumento del número de éstas, lo que nos da a entender que han existido factores que han producido un cambio en la continuidad del manejo de los brezales en estos años que ha provocado destrucción del hábitat y su fragmentación.

Aunque diferentes usos del suelo han llevado a la formación de los brezales europeos, históricamente han sido usados como pastizales para el ganado local. En Galicia en 1957 los brezales se usaron recolectando para el lecho de los animales, para la obtención de abono rico en nitrógeno con el fin de fertilizar la tierra cultivable y para el pastoreo, el bosque nativo se usaba como leña, las especies riparias quedaban relegadas a las zonas donde el agua era un factor limitante para la agricultura o la largo de los límites de las parcelas (esto concuerda con la elevada fragmentación que muestran los resultados) y las tierras de cultivo se utilizaban para pasto y para cosechas de consumo propio, La ganadería era importante y cada granja tenía producción de leche o carne. El resultado fue un sistema agrícola de subsistencia sostenida por mano de obra sin mecanización y sin productos químicos (Crecente et al., 2002).

Después de la década de 1950 el abandono de la agricultura de áreas marginales y su concentración en las zonas más fértiles, puede ser explicada por las reformas agrícolas derivadas del Plan para la Estabilización y Liberación de 1959, y la recuperación socio-económica de Europa central después de la 2ª guerra mundial, con una gran emigración desde zonas rurales. Aunque en nuestro estudio el porcentaje de área de *pastos* no tiene diferencias significativas en la escala de 2 km de radio entre 1956-2008, sí las hay en cuanto el número de manchas que aumenta a la vez que se reduce el tamaño de éstas, por lo que una mayor fragmentación se podría explicar con un uso del suelo de forma menos extensiva en pastizales mejorados tanto mecánicamente como en su ubicación en zonas más fértiles lo que aumentaría el número de granjas reduciendo su tamaño. Además al abarcar más superficie que la escala 500 m es posible que la zona esté, en general, más cerca de núcleos urbanos o pequeñas aldeas, aquí la elevada dispersión de la población gallega podría tener importancia. Por otro lado el uso de la leña y madera sufrió una considerable disminución debido a la incorporación de nuevas fuentes de energía (gas butano) para uso doméstico desde mediados de los años 60. En nuestros resultados el bosque nativo aumenta su superficie aunque no en demasía, posiblemente se haya recuperado partir de pequeñas manchas existentes previamente ya que no aumenta significativamente su número de fragmentos (también podría ser que hubiera nuevas manchas y desaparecieran otras pero no es probable) y no se haya podido expandir más, por la irrupción de las repoblaciones y factores que permiten la permanencia del brezal (grandes herbívoros, recolección de leña). Posteriormente la tendencia moderna de intensificación del uso del suelo, ha resultado en una reducción del uso extensivo de los brezales (Rose et al. 2000). Y además ha provocado una severa pérdida de muchos de estos hábitats semi-naturales, en aquellas zonas que tradicionalmente se dedicaban al pastoreo extensivo. (Fargúndez, 2016). Dejando espacio a repoblaciones con especies forestales introducidas, de crecimiento rápido y que necesitan poco o ningún mantenimiento como *Pinus pinaster* o *Eucalyptus*. El proceso de pérdida de hábitat a varias escalas en la región es probable que continúe, entre los factores que pueden ser responsables de la pérdida está principalmente la

mencionada presión humana en el cambio de uso del suelo, también fragmentación, eutrofización, cambio climático, especies exóticas invasoras, o interacciones entre estos factores (Britton et al. 2008, Fagúndez, 2013). Y aunque siguen existiendo factores que hacen que los brezales permanezcan: grandes herbívoros solos o en combinación con otras prácticas, la corta o la quema los cuales son considerados como las mejores herramientas para conformar y mantener los hábitats seminaturales. Son necesarias acciones para su conservación (Fagúndez, 2013).

### *Correlaciones*

La evolución los paisajes de la costa del norte de Galicia han estado influenciados por una elevada densidad de población, introducción a gran escala de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus spp*) y prácticas agrícolas pequeñas lo cual ha resultado en un uso actual del suelo muy heterogéneo (Calvo-Iglesias et al., 2006). La distancia de las áreas de estudio con la línea de costa, al correlacionarse con la cobertura del tipo *brezal* en la escala de 500 m de radio de 1956, obtenemos resultados, a priori contradictorios en los que en vez de aumentar la fragmentación, vemos que el tamaño medio de mancha aumenta a medida que disminuye la distancia con la costa y también aumenta el área total de *brezal*. Esto no pasa en 2008 por lo que podemos inferir que la tendencia ha llevado a que se igualen en este sentido los brezales de la costa y el interior. Podría ser que las zonas de la costa con mayor densidad de población hayan mantenido los usos tradiciones del suelo más que los del interior o también podría achacarse estos resultados a algún problema con el método ya que en las fotografías aéreas de 1956 puede ser complicado distinguir entre un brezal poco denso y una pradera.

### *Discusión metodológica limitaciones del método y posibles errores*

El método está limitado principalmente por disponer sólo de dos instantes de tiempo, si un paisaje tiene el mismo patrón en 1956 y en 2008, nosotros lo interpretaríamos como que ha permanecido sin cambios aunque los haya sufrido y posteriormente retornado al mismo punto. Podrían haber influido las fluctuaciones climáticas en la toma de fotos de 1956. Por otro lado alguna categoría podría haberse visto más afectada que el resto al ser más difícil de localizar como una mancha homogénea en las fotos en blanco y negro de 1956, esto podría ser el caso de *re población*, la cual tiene un área muy pequeña en este año (Gráfico 3). Otro factor que podría llevar a interpretaciones erróneas son las 5 categorías de cobertura escogidas, que engloban de una forma general varios tipos de cobertura por ejemplo *infraestructuras* incluye desbroces, afloramientos rocosos y polígonos indefinidos y en zonas como por ejemplo Meira en el 2008 (ver gráfico 3) se puede interpretar como una zona muy urbanizada cuando en realidad tiene zonas roturadas y una cantera.

### *Excepciones*

En Capelada es donde se produce mayor descenso de brezal de todas, actualmente tiene mucha repoblación y pasto, además de un parque eólico, En estudios previos muestra una elevada riqueza específica dentro de los brezales (Fagúndez, 2016).

El brezal de Bustelo pierde, en 2008 muy poco porcentaje de suelo ocupado por brezal en la escala de 500 m de radio, probablemente al no tener repoblaciones y (Fagúndez, 2016) es la zona donde pastan más ovejas y el brezal es más bajo.

En la escala de 2 km de radio, Carba es donde menos disminuye el brezal y también se caracteriza por no tener prácticamente repoblaciones, aunque sí tiene parque eólico y zonas de cultivo. Está pastado sólo por caballos y además tiene una alto valor de riqueza específica y diversidad, por otro lado, los caballos salvajes se organizan en manadas territoriales, que controlan naturalmente su densidad además de la presión sobre los pastos, lo que puede explicar la ausencia de los efectos por densidad de estos animales

sobre los brezales (Fagúndez, 2016). Y posiblemente hayan sido una causa de que se mantenga esta cobertura del suelo, debido a sus hábitos alimenticios que impiden el aumento de los bosques.

En sitios como Abadín donde los pastos han cobrado gran importancia, el ganado vacuno en libertad es el dominante y la estructura de la comunidad de brezal es más simple (Fagúndez, 2016)

Aun teniendo alguna desventaja, tal como señala (Hietel et al., 2004) nuestro método puede ser transferido a otras regiones. Los análisis before-after han sido empleados para comparar las proporciones de los tipos de hábitats y para evaluar cómo, cuándo, y por qué el tamaño de los diferentes tipos ha cambiado, además el concepto de categorías del paisaje incorporadas en GIS ayuda a evaluar estos tipos de hábitat de una forma precisa. Éstos análisis facilitan la realización de estudios del cambio del uso del suelo para la planificación de la restauración del ecosistema (Bender et al., 2005).

## 6. Conclusiones

Los resultados reflejan que efectivamente existe una disminución de los brezales húmedos atlánticos de *E. mackayana*, ya que ocupan menos superficie que hace 60 años. El esquema general del paisaje se ha alterado, aumentando la fragmentación de brezales y pastizales que actualmente tienen más manchas y de menor tamaño mientras que los bosques nativos y las repoblaciones forestales han cobrado importancia.

Si se mantiene esta tendencia de desaparición del hábitat podría desembocar en una situación similar a la de otros brezales europeos que actualmente son residuales. Para evitarlo debemos poner fin a la ruptura con la larga tradición cultural de manera que se fomenten las condiciones ecológicas que los crearon y sus procesos claves, como la explotación de recursos, el uso de combinaciones óptimas de herbívoros (caballo salvaje principalmente) y sus densidades o la aparición ocasional de incendios.

A pesar de las limitaciones, el uso de SIG puede ser útil para el conocimiento de los cambios históricos, cuantificarlos aportando una información fiable y válida para fines de conservación de estas comunidades en relación a las perturbaciones y cambios en los usos del suelo

## 7. Bibliografía

- Bender, O., Boehmer, H. J., Jens, D. and Schumacher, K. P. (2005). Analysis of land-use change in a sector of Upper Franconia (Bavaria, Germany) since 1850 using land register records. *Landscape Ecology*, 20, 149-163.
- Britton, A. J. et al. (2008). Interactive effects of nitrogen deposition and fire on plant and soil chemistry in an aloune heathland. *Environmental Pollution*, 156, 409-416.
- Calvo-Iglesias, M. S., Crecente-Maseda, R. and Fra-Palep, U. (2006). Exploring farmer's knowledge as a source of information on past and present cultural landscapes: a case study from NW Spain. *Landscape Urban Plan*, 78, 334-343.
- Casares, G. T. (2000). The Development of Modern Spain: an Economic History of the Nineteenth and Twentieth Centuries. Harvard University.
- Corrigan, B. M., Kneen, M., Geldenhuys, C. J. and van Wyk, B-E. (2010). Spatial changes in forest cover on the KwaNibela Peninsula, St Lucia, South Africa, during the period 1937 to 2008. *Southern Forests*, 72(1), 47-55.
- Cousins, S. A. O. (2001). Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology*, 16, 41-54.
- Crecente, R., Álvarez, C. and Fra, U. (2002). Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia. *Land Use Policy*, 19, 135-147.
- Fagúndez, J. (2006). Two wild hybrids of *Erica* L. (Ericaceae) from northwest Spain. *Botanica Complutensis*, 30, 131-135.
- Fagúndez, J. (2013). Heathlands confronting global change: drivers of biodiversity loss from past to future scenarios. *Annals of Botany*, 111(2), 151-172.
- Fagúndez, J. (2016). Grazing effects on plant diversity in the endemic *Erica mackayana* heathland community of north-west Spain. *Plant Ecology & Diversity*, 9(2), 207-217.
- Fagúndez, J. and Izco, J. (2016). Spatial analysis of heath toponymy in relation to present-day heathland distribution. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(1), 51-60.
- Gómez-Orellana, L., Sánchez, B. H., Román, M. R., Ramil-Rego, P., da Costa, J. F. and Castro, C. C. (2014). The peatbogs system of Xistral mountain range as carbon store, valuation, conservation status and threats. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Geología*, 108, 5-17.
- Hietel, E., Waldhardt, R. and Otte, A. (2004). Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecology*, 19, 473-489.
- Irwin, E. G. and Geoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 85, 7-23.
- Izco, J., Amigo, J., Ramil Rego, P., Díaz, R. y Sánchez, J. M. (2006). Brezales: biodiversidad, usos y conservación. *Recursos Rurais*, 2, 5-24.
- Izco, J., Vázquez, J. A. y San León, D. G. (1999). Análisis y clasificación de la vegetación leñosa de Galicia (España). *Lazaroa*, 20, 29-47.
- Manuel, C. y Gil, L. (2002). La transformación histórica del paisaje forestal en Galicia. Tercer Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Marinova, E., Kirleis, W. and Bittmann, F. (2012). Human landscape and climate change during the Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, 21, 245-248.
- Nuñez-Regueira, L., Proupín-Castiñeiras, J. y Rodríguez-Añón, J. A. (2002). Energy evaluation of forest residues originated from *Eucalyptus globulus* Labill in Galicia. *Bioresource Technology*, 82, 5-13.
- Olsson, E. G. A., Austrheim, G. and Grenne, S. N. (2000). Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960-1993. *Landscape Ecology*, 15, 155-170.

- Piessens, K. and Hermy, M. (2006). Does the heathland flora in north-western Belgium show an extinction debt? *Biological Conservation*, 132, 382-394.
- Piessens, K., Honnay, O. and Hermy, M. (2005). The role of fragment area and isolation in the conservation of heathland species. *Biological Conservation*, 122, 61-69.
- Piessens, K., Honnay, O., Nackaerts, K. and Hermy, M. (2004). Plant species richness and composition of heathland relics in north-western Belgium: evidence for a rescue-effect? *Journal of Biogeography*, 31, 1683-1692.
- Poudevigne, I., van Rooij, S., Morin, P. and Alard, D. (1997). Dynamics of rural landscapes and their main driving factors: A case study in the Seine Valley, Normandy, France. *Landscape Urban Planning*, 38, 93-103.
- Rivas-Martínez, S. (2011). Mapa de series, geoserias y geoperma-series de vegetación de España. Parte II. *Itinera Geobotánica*, 18, 5-424.
- Roldán Martín, M. J., De Pablo, C. L. and Martín de Agar, P. (2006). Landscape changes over time: comparison of land uses, boundaries and mosaics. *Landscape Ecology*, 21, 1075-1088.
- Rose, R. J. et al. (2000). Changes on the heathlands in Dorset, England, between 1987 and 1996. *Biological Conservation*, 92, 117-125.
- Skånes, H. M. and Bunce, R. G. H. (1997). Directions of landscape change (1741-1993) in Virestad, Sweden- characterised by multivariate analysis. *Landscape Urban Planning*, 38, 61-75.
- Soñora, X. (1995). Studio deas matagueiras da área cpruñesa do subsector Galaico-asturiano septentrional [Unpublished thesis] [Spain]: University of Santiafo de Compostela.
- Teixido, A. L. et al. (2010). Impacts of changes in land use and fragmentation patterns on Atlantic coastal forests in northern Spain. *Journal of Environmental Management*, 91, 879-886.
- Thompson, K. and Band, S. R. (1997). Survival of a lowland heathland seed bank after a 33-year burial. *Seed Science Research*, 7, 409-411.
- Vaitch, N., Webb, N. R. and Wyatt, B. K. (1995). The application of geographic information systems and remotely sensed data to the conservation of heathland fragments. *Biological Conservation*, 72, 91-97.
- Wallis de Vries, M. F. (1995). Large herbivores and the design of large-scale nature reserves in western Europe. *Conservation Biology*, 9, 25-33.





