

# DIVERSIDAD Y TERRITORIO: ESCALAS PARA SU MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO

David Sánchez de Ron y José Manuel García del Barrio

CIFOR – INIA. Departamento de Sistemas y Recursos Forestales. Ctra. A Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: dsanchez@inia.es

## Resumen

Se presentan tres ejemplos de análisis del territorio a diferentes escalas y con distintos objetivos utilizando los Sistemas de Información Geográfica como herramienta. El primer ejemplo parte de la cartografía generada en la revisión de la distribución de las principales especies forestales. Utilizando el mapa de distribución del haya (*Fagus sylvatica* L.) y las regiones de procedencia establecidas para la especie, se estudia la variabilidad climática entre regiones con el objeto de establecer similitudes y/o homologaciones para las recomendaciones de uso de material forestal de reproducción. En el segundo ejemplo, se establecen relaciones entre usos del suelo y riqueza de vertebrados a partir de datos de distribución de la especie en cuadrículas UTM de 10x10 km<sup>2</sup>. El último ejemplo plantea la generación de modelos predictivos de la riqueza y diversidad de especies forestales en España en función de variables territoriales (climáticas y topográficas), a la misma resolución que el ejemplo anterior.

Palabras clave: *Territorio, Diversidad, Análisis, Medición, Modelización*

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas insustituibles para la realización de análisis territoriales. En la actualidad, la capacidad de cálculo derivada del avance en los sistemas informáticos permite trabajar a una resolución espacial que hace sólo unos pocos años era impensable. Pero la potencia de estos sistemas hubiera estado muy limitada si este desarrollo tecnológico no hubiera estado acompañado de un esfuerzo por mejorar la información disponible, a veces tan costoso y complicado de desarrollar como los propios sistemas. Porque una fuente de información, para que sea operativa y de utilidad para los SIG, no solamente tiene que ofrecer datos lo más detallados y correctos, sino que, además,

tiene que tener una estructura que permita acceder y trabajar con los datos de una forma lo más sencilla posible. De hecho, a veces se han realizado grandes esfuerzos en la captación de información, pero su utilización posterior ha estado muy limitada por la estructura de las bases de datos generadas, cuya lógica no se correspondía con la necesaria para ser utilizada por un SIG. En la actualidad, en la mayoría de los casos, las bases de datos generadas después de la recogida de datos suelen estar pensadas para una utilización directa por un SIG.

Los ejemplos que se exponen aquí muestran algunas de las líneas de investigación que en la actualidad se están desarrollando en la Unidad de Ecología Forestal y del Paisaje del Centro de Investigación Forestal del INIA. En los tres ejemplos que se exponen se establecen relacio-

nes espaciales a distintos niveles (especie individual, tipo biológico y grupo taxonómico) y escalas territoriales.

En estos estudios se parte de información generada por distintos especialistas, compilada y distribuida por las distintas Administraciones y analizada por nosotros a escala nacional, aunque de igual forma se podría analizar a escala regional o incluso local. El primer estudio trata de establecer cuáles son las similitudes existentes, desde un punto de vista climático, entre las distintas regiones de procedencia que en la actualidad están establecidas para el haya (*Fagus sylvatica* L.) en España (MARTÍN et al., 1998). El segundo, de ámbito más amplio, estudia cuáles son las relaciones entre la diversidad de usos del suelo y la riqueza de especies de vertebrados, así como la relación de esta variable con cada uno de los principales usos del suelo. El tercer estudio trata de establecer modelos predictivos sobre la riqueza y diversidad de especies forestales a partir de datos climáticos, topográficos y espaciales.

### SIMILITUD CLIMÁTICA DE LAS REGIONES DE PROCEDENCIA DE *FAGUS SYLVATICA* L.

Este ejemplo de utilización de los SIG en los estudios forestales tiene como fuente de información principal la cartografía de distribución de especies forestales que se está elaborando

para las 57 especies forestales que regula el Real Decreto 289/2003 sobre comercialización de los materiales forestales de reproducción. Esta nueva cartografía tiene como principales fuentes los distintos mapas e inventarios forestales realizados hasta la fecha (CEBALLOS, 1966; DGCN, 1997-2007a, 1997-2007b; ICONA, 1985-1995; RUIZ DE LA TORRE, 1990). La principal aportación de esta nueva cartografía es la información referente al origen de las masas, con el establecimiento de distintas categorías para todas las especies discriminando si son masas autóctonas, no autóctonas de origen conocido o no autóctonas de origen desconocido (Figura 1).

La nueva cartografía puede consultarse en:

<http://www.inia.es/gcont/redestem/noticias/index.jsp?tema=relint&raiz=1507&idcategoria=1837>

Asimismo, se dispone de información generada a partir de un modelo climático (HJUMANS et al., 2004) con una resolución de 1x1 km<sup>2</sup> que aporta un gran número de variables climáticas. Para este trabajo se ha decidido utilizar un total de 10 variables climáticas que se muestran en la tabla 1.

Un primer paso consiste en establecer cuáles son las cuadrículas de 1x1 km<sup>2</sup> adonde está presente la especie. Posteriormente, una vez que se tiene establecida la distribución, se asigna a cada una de las cuadrículas la región de procedencia (AGÚNDEZ et al., 1995) a la que pertenece. Obsérvese que la información resultante tendrá la resolución más baja de las capas de información utilizadas en el análisis.

| VARIABLES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LAS REGIONES DE PROCEDENCIA DE <i>Fagus sylvatica</i> L. |
|---|
| Precipitación de verano   |
| Precipitación de invierno   |
| Precipitación de otoño  |
| Precipitación de primavera  |
| Temperatura media anual   |
| Temperatura media de las mínimas del mes más frío   |
| Temperatura media de las máximas del mes más cálido   |
| Período de heladas seguras  |
| Período de sequía   |
| Período vegetativo  |

**Tabla 1.** Variables climáticas utilizadas en la caracterización de las Regiones de Procedencia de *Fagus sylvatica* L.

El resultado es una base de datos que ofrece información sobre presencia de la especie, valores climáticos y región de procedencia a una resolución máxima de 1x1 km<sup>2</sup>. Un análisis estadístico posterior de todos estos datos basado en correlaciones entre variables climáticas permite establecer la similitud y agrupación de los diferentes grupos (análisis clúster), a partir de un nivel de similitud climática relativa del 20%.

En la figura 2 se muestra la agrupación de las distintas regiones de procedencia a partir de los datos climáticos. Se observa como quedan agrupadas las procedencias cantábricas occidentales y éstas quedan separadas de las procedencias del sector vasco-navarro. También aparecen diferenciadas las regiones pirenaicas central y occidental. Otro grupo es el correspondiente a las masas existentes en los Sistemas Ibérico y Central, mientras que las pequeñas poblaciones marginales de las Sierras del Caurel y Ancares y la de los Puertos de Beceite aparecen diferenciadas del resto.

## USOS DEL SUELO Y DIVERSIDAD DE VERTEBRADOS

En este caso se parte de dos fuentes de información básica. Por un lado disponemos de una cartografía a escala 1:100.000 de los usos del suelo generada por la Secretaría de Estado de Aguas y Costas (Ministerio de Medio Ambiente). Algunas categorías se han agrupado para adaptarlas al nivel 3 de CORINE con un

resultado final de 25 categorías que se muestran en la tabla 2. La segunda fuente son los Atlas de Vertebrados (aves, mamíferos terrestres, reptiles y anfibios y peces continentales) en los que se muestra la presencia de las distintas especies en cuadrículas de 10x10 km<sup>2</sup>.

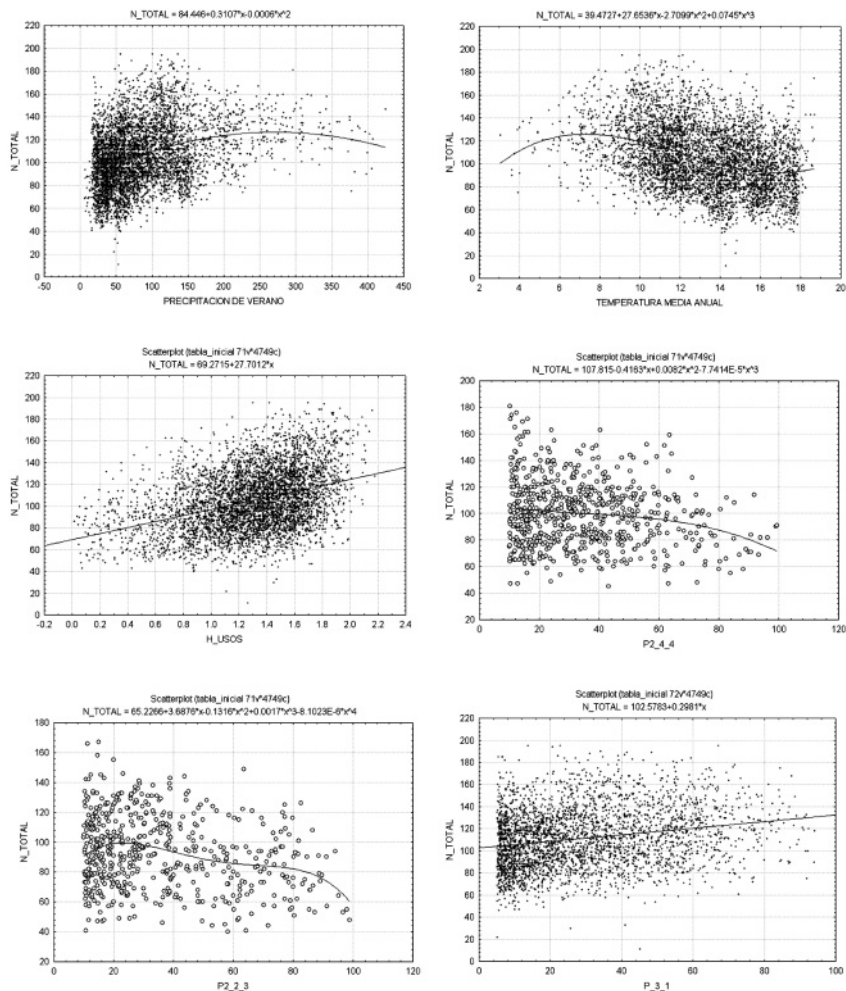
A partir de estos datos, un primer paso consiste en establecer el número de especies presentes en cada una de las cuadrículas, cuyo resultado se muestra en la figura 3. Sobre la cobertura modificada de usos del suelo se superpone la malla UTM 10x10 km<sup>2</sup> y se calcula para cada cuadrícula la diversidad de Shannon ( $H = -\sum p_i \times \log p_i$ ) respecto a los usos del suelo (Figura 4).

Para establecer relaciones entre la riqueza de especies de vertebrados con variables ambientales se han asignado parámetros climáticos y topográficos a cada una de las cuadrículas de 10x10 km<sup>2</sup>. Solamente se han analizado las cuadrículas que tienen más de 8.000 ha de superficie emergida.

Basándonos en toda esta información se puede observar el comportamiento de la riqueza de vertebrados según cada una de las variables anteriores. En la figura 5 observamos cómo se comporta la riqueza según dos variables climáticas: la precipitación de verano y la temperatura media anual. Por lo general, la relación entre las distintas variables climáticas y la riqueza de especies presenta un máximo que corresponde con zonas de pluviosidad media o alta y temperaturas relativamente bajas, ya que la mayor parte de las áreas de elevada riqueza de especies de vertebrados

|       |  |       |   |
|-------|--|-------|---|
| 1_1_1 | Tejido urbano continuo                           | 3_1_1 | Bosques de coníferas                    |
| 1_3_1 | Zonas de extracción minera                       | 3_1_2 | Bosques de frondosas                    |
| 1_4_1 | Zonas verdes urbanas                             | 3_1_3 | Bosques mixtos                          |
| 2_1_1 | Tierras de labor en secano                       | 3_2_1 | Pastizales naturales                    |
| 2_1_2 | Terrenos regados                                 | 3_2_2 | Landas y matorrales                     |
| 2_1_3 | Arrozales  | 3_3_3 | Espacios abiertos con escasa vegetación |
| 2_1_4 | Cultivos bajo plástico                           | 4_2_1 | Marismas                                |
| 2_1_5 | Cultivos tradicionales                           | 4_2_3 | Zonas llanas intermareales              |
| 2_2_2 | Frutales   | 5_1_1 | Cursos de agua                          |
| 2_2_3 | Cultivos permanentes secano (olivares y viñedos) | 5_1_2 | Láminas de agua                         |
| 2_4_2 | Mosaico de cultivos                              | 5_2_1 | Lagunas costeras                        |
| 2_4_3 | Terrenos agrícolas con vegetación natural        | 5_2_3 | Mares y océanos                         |
| 2_4_4 | Dehesas  |       |   |

**Tabla 2.** Tipologías de usos adaptadas al nivel 3 de CORINE como base para el cálculo de diversidad de usos del suelo



**Figura 5.** Comportamiento de la riqueza de vertebrados terrestres ( $N_{TOTAL}$ ) en función de la precipitación de verano, la temperatura media anual, la diversidad de usos del suelo ( $H_{USOS}$ ), la proporción de dehesas ( $P2\_4\_4$ ), la proporción de cultivos permanentes de secano ( $P2\_2\_3$ ) y de bosques ( $P3\_1$ ) en una cuadrícula UTM de 10x10 km<sup>2</sup>

dos se presentan en las zonas de montaña de la mitad septentrional de la península Ibérica.

Respecto a los usos del suelo, observamos una correlación positiva entre la riqueza de vertebrados y la diversidad de éstos. Como ejemplos de cómo evoluciona la riqueza de vertebrados según aumenta la proporción de determinados usos del territorio hemos seleccionado los correspondientes a las dehesas ( $2\_4\_4$ ), cultivos permanentes de secano ( $2\_2\_3$ ) y bosques ( $3\_1$ ). Cabe observar que las dehesas por sí

mismas se comportan de forma más parecida a un cultivo que a una zona forestal. Sin embargo, este primer resultado podría matizarse si se contemplara como un complejo dehesa-monte mediterráneo (Figura 5).

## DIVERSIDAD DE ESPECIES FORESTALES

Como último ejemplo de utilización de SIG se expone la posibilidad de establecer relaciones

y generar modelos entre variables ambientales y espaciales con la diversidad y riqueza de especies forestales. La fuente de partida son los datos de los Inventarios Forestales Nacionales (DGCN, 1997-2007b; ICONA, 1985-1995). La información que recogen estos inventarios es a nivel nacional, y muestra el comportamiento de distintas variables de árbol y de masa en parcelas de muestreo distribuidas regularmente siguiendo la cuadrícula UTM de 1x1 km<sup>2</sup>. Para nuestro análisis hemos obtenido las especies presentes en cada una de las parcelas de muestreo y hemos asignado el número de especies y la diversidad de Shannon a las cuadrículas de 10x10 km<sup>2</sup> con más de 8.000 ha de territorio emergido. Asimismo, se han calculado para cada una de las cuadrículas los valores medios y las desviaciones típicas de variables climáticas y topográficas de cada una de ellas. También se incorporan a cada una de las cuadrículas los parámetros de localización espacial relativa (longitud y latitud) a partir de un centro que coincide con la media del conjunto.

El siguiente paso ha consistido en una selección de variables climáticas y topográficas mediante un análisis que permite establecer las correlaciones existentes entre las mismas. A continuación se seleccionan dos submuestras, una para la elaboración del modelo y otra para su validación. En la submuestra de análisis se establecen de manera sistemática (evitando la

contigüidad de las celdas) distintos grupos (4) de algo más de 400 cuadrículas cada uno, con objeto de evitar en la medida de lo posible la autocorrelación espacial.

A partir de Modelos Lineales Generalizables (GLZ) se han establecido dos modelos, número de especies y diversidad, a partir de un reducido número de variables, y que explican algo más del 70% y el 60%, respectivamente, de la variabilidad (Figuras 6 y 7).

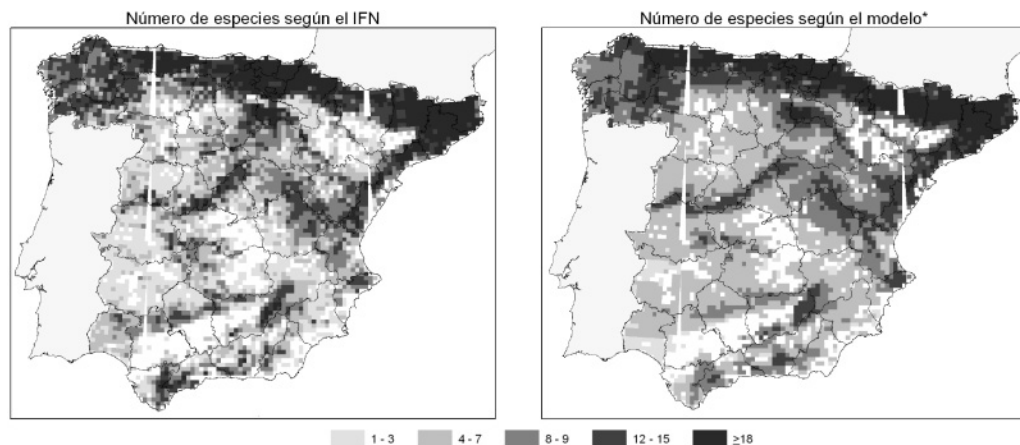
El primero de estos modelos, el que hace referencia al número de especies, se calcula a partir de 5 variables originales siguiendo la expresión que aparece a continuación (Figura 6):  $N = a_1A^2 + a_2S - a_3S^2 + a_4P - a_5P^2 - a_6T^2 + a_7X - k$  siendo A la altitud media de la cuadrícula, S la pendiente media, P la precipitación media, T la temperatura media y X la longitud relativa.

El modelo de diversidad se compone de 4 variables y se recoge mediante la función (Figura 7):

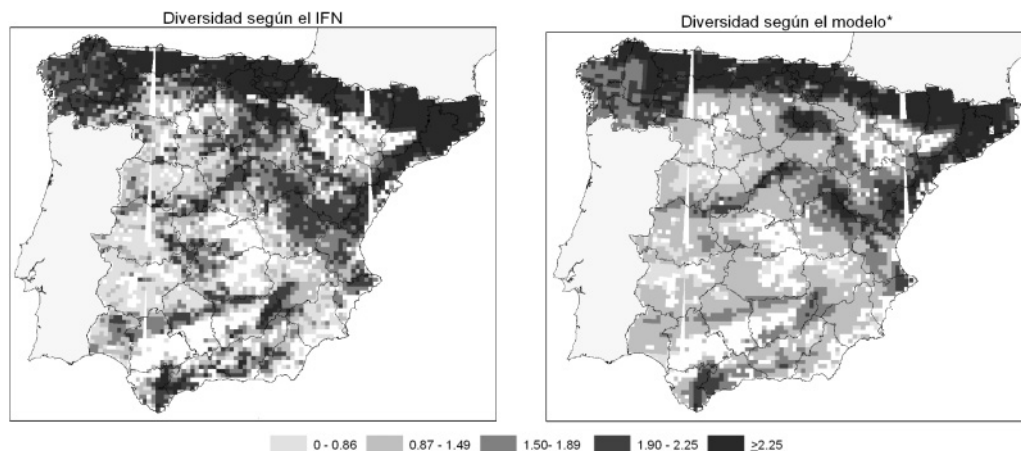
$H = a_1S - a_2S^2 + a_3P - a_4P^2 - a_5X + a_6 X^2Y - k$  donde S es la pendiente media de la cuadrícula, P la precipitación media, T la temperatura media, X la longitud relativa e Y la latitud relativa.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los distintos ejemplos presentados muestran diferentes formas de abordar análisis ecológicos



**Figura 6.** Número de especies forestales presentes en una cuadrícula UTM de 10x10 km<sup>2</sup> y el resultado obtenido a partir del modelo de riqueza de especies



**Figura 7.** Índice de diversidad de Shannon de especies forestales en una cuadrícula UTM de 10x10 km<sup>2</sup> y el resultado obtenido a partir del modelo de diversidad de especies

para especies, tipos biológicos o grupos taxonómicos. Estos análisis tienen una importante base territorial que se realiza gracias a la implementación de la información en las bases de datos georeferenciadas que constituyen la esencia de un SIG. Esta información puede tratarse posteriormente con otros paquetes estadísticos para, en una siguiente fase, recuperar la información resultante y representarla de nuevo en su dimensión espacial. Esta secuencia se puede prolongar tanto como sea necesario de manera que nuestros resultados y conclusiones reflejen un mejor nivel de conocimiento no sólo de los componentes ecológicos objeto de estudio, sino también de su componente espacial inevitablemente ligada a ellos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGÚNDEZ *et al.*; 1995. *Regiones de Procedencia de Fagus sylvatica L.* ICONA. Madrid.
- CEBALLOS, L. (dir.); 1966. *Mapa Forestal de España.* Ministerio de Agricultura. Madrid.
- GARCÍA DEL BARRIO, J.M.; DE MIGUEL, J.; ALIA, R. Y IGLESIAS, S. (coords.); 2001. *Regiones de Identificación y Utilización de Material Forestal de Reproducción.* Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- DGCN (DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA); 1997-2007a. *Mapa Forestal de España (MFE50).* Madrid.
- DGCN (DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA); 1997-2007b. *Tercer Inventario Forestal Nacional.* Madrid.
- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G. & JARVIS, A.; 2004. *The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces, version 1.3.* (Available at <http://bioge.berkeley.edu/>).
- ICONA; 1985-1995. *Segundo Inventario Forestal Nacional.* ICONA. Madrid.
- MARTÍN, S.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, P.M. Y DE MIGUEL, J.; 1998. *Regiones de Procedencia de las Especies Forestales Españolas. Géneros Abies; Fagus; Pinus y Quercus.* Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.
- RUIZ DE LA TORRE, J. (dir.); 1990. *Mapa Forestal de España Escala 1:200.000. Memoria General.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.

# DIVERSIDAD Y TERRITORIO: ESCALAS PARA SU MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO

David Sánchez de Ron y José Manuel García del Barrio

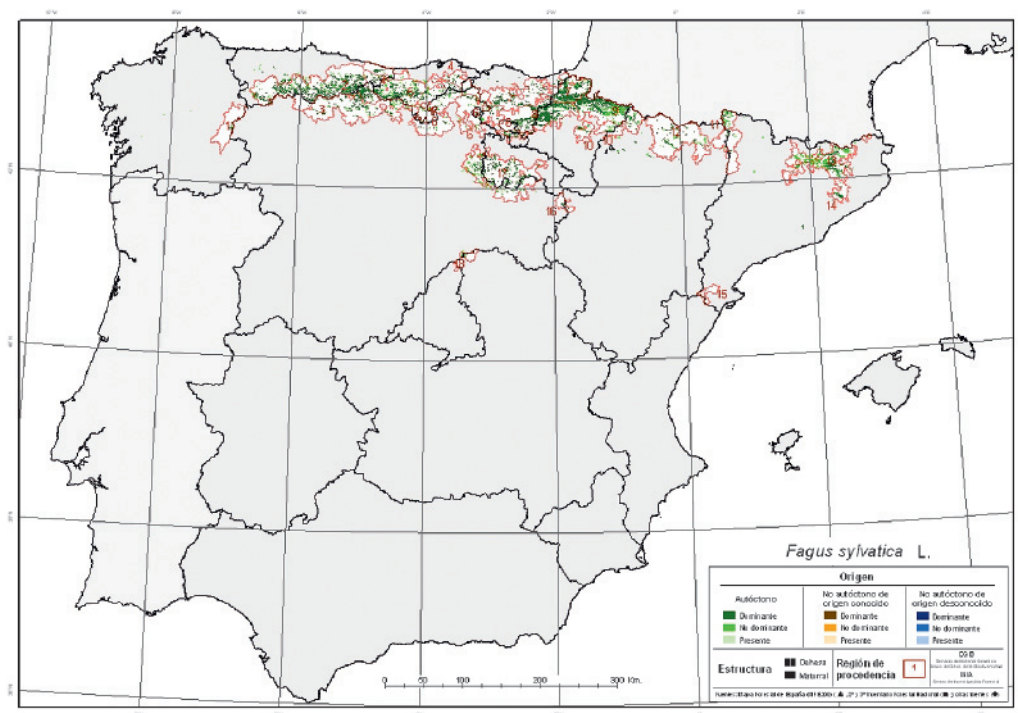


Figura 1. Distribución del haya (*Fagus sylvatica* L.) en España y sus Regiones de Procedencia. Ejemplo de la cartografía sobre distribución y origen que se está realizando para las especies que regula el RD 289/2003

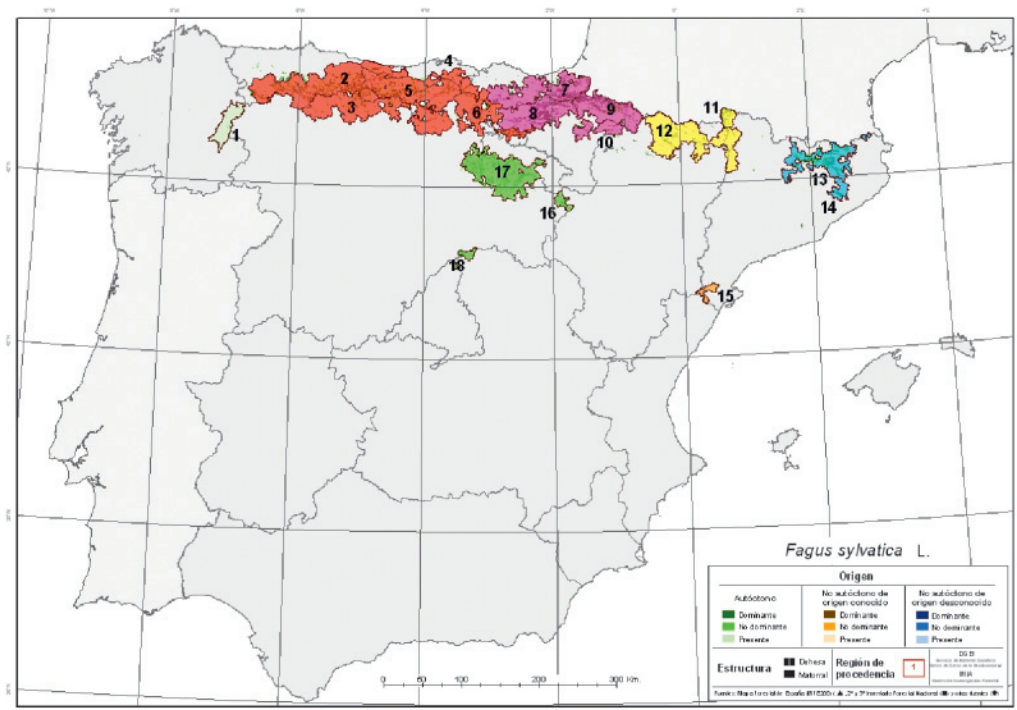


Figura 2. Resultado del análisis de similitud climática entre Regiones de Procedencia del haya. Los diferentes colores de las regiones indican la agrupación de las distintas Regiones de Procedencia en función del nivel de similitud climática

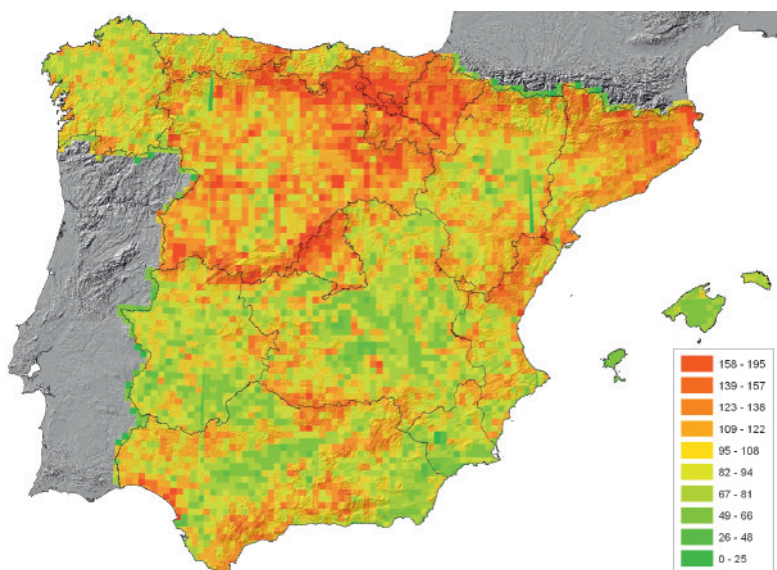
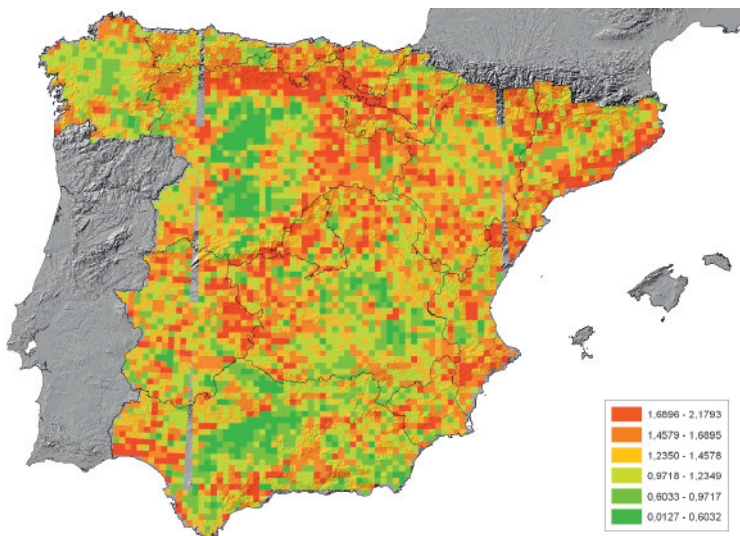


Figura 3. Número de especies de vertebrados terrestres siguiendo la malla UTM de 10x10 km<sup>2</sup>





**Figura 4.** Valores de diversidad (Shannon) de usos del suelo utilizando la malla UTM de 10x10 km<sup>2</sup> para aquellas cuadrículas que presentan una superficie mayor de 8.000 ha