



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Monte

REF

Edición: 2009  
Ávila, 15-17 de Septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Cambio climático y sus posibles efectos sobre la diversidad y vulnerabilidad de los ecosistemas forestales de Castilla y León

GARCÍA LÓPEZ, J.M.<sup>1</sup> y ALLUÉ CAMACHO, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Área de Medio Natural. Servicio Territorial de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. C/ Juan de Padilla s/n. 09006-Burgos. [garlopjv@jcy.l.es](mailto:garlopjv@jcy.l.es), [allcamca@jcy.l.es](mailto:allcamca@jcy.l.es)

### Resumen

Se ensaya un método para evaluar los posibles efectos que una dinámica de cambio en las condiciones climáticas futuras pueda tener sobre la diversidad fitoclimática de Castilla y León y la vulnerabilidad de sus ecosistemas forestales. La metodología aplicada se basa en los modelos fitoclimáticos de Allué-Andrade modificados. La diversidad se estima a partir de la polivalencia fitoclimática, evaluada a su vez a través de la aplicación del Índice de Diversidad de Shannon a los conjuntos escalares de adecuación derivados de la diagnosis fitoclimática. Se compara la situación actual con 2 escenarios futuros, consistentes en un aumento de temperatura de 1°C y de 2°C respectivamente, con precipitación constante, mediante estimaciones termoplumiométricas sobre un Modelo Digital de Elevaciones de la Comunidad de Castilla y León de 1 km x 1 km de resolución. Los resultados indican una pérdida de diversidad fitoclimática evaluable en un 30% aproximado del Índice de Shannon y un 50% aproximado en el catálogo de espectros de diagnosis fitoclimática. El comportamiento altitudinal es dispar, pues mientras se produce por término medio un aumento de la vulnerabilidad por debajo de los 1300 m de altitud, por encima de esa cota se produce una disminución de esa vulnerabilidad. Las formaciones forestales que ven más aumentada su vulnerabilidad son los alcornoques mientras que los pinares de montaña de pino silvestre y los hayedos son las formaciones que más disminuyen su vulnerabilidad.

### Palabras clave

Calentamiento, idoneidad fitoclimática, biodiversidad, bosques, competencia, riqueza

### 1. Introducción

La estimación de la biodiversidad ha tomado importancia en los últimos decenios como una herramienta clave en la gestión del medio natural. Aspectos tales como la valoración de un espacio a efectos de la toma de medidas legales y administrativas para su protección, evaluación de posibles impactos por planes, programas y proyectos, o la toma de decisiones frente a las incertidumbres futuras derivadas del cambio climático se asientan en gran parte sobre metodologías de estimación de la diversidad ecológica. De hecho, los efectos del cambio climático sobre la diversidad de cubiertas vegetales y sobre las relaciones internas de competencia entre las especies principales que las forman está llamada a ser en el futuro una de las líneas prioritarias de investigación (DAVIS *et al.*, 1998; PEARSON *et al.*, 2003; FERNÁNDEZ *et al.*, 2005). Esto es especialmente relevante en la Comunidad de Castilla y León, que por su extensión y su situación geográfica, alberga uno de los patrimonios forestales más diversos de la Unión Europea.

Desde un punto de vista fitoclimático, la potencialidad de un territorio para albergar distintos tipos de cubiertas arbóreas forestales puede estudiarse de forma integrada mediante la consideración de modelos matemáticos que permitan determinar qué especies principales de una formación forestal son compatibles con ese territorio y además el grado de adecuación de cada una de esas formaciones al ambiente fitoclimático de la estación.

Esta visión fitoclimática integrada no sólo permite conocer la riqueza potencial de un territorio en términos de formaciones forestales arbóreas, evaluada a través del número de especies principales compatibles, sino que el cálculo de indicadores numéricos de adecuación permite evaluar la capacidad de acogida del medio para albergar a cada formación forestal y por ende, introducimos en el complejo mundo de las relaciones de competencia entre especies y entre formaciones forestales, mediante la comparación de adecuaciones relativas entre ellas. La importancia del factor competencia en la distribución de las especies vegetales es de tal magnitud que según algunos autores (WALTER, 1977), los límites naturales de distribución de una especie se producirían donde unas condiciones ambientales variables disminuyesen hasta tal punto su capacidad de competencia que se viese desplazada por otras especies, teniendo en general los factores ecológicos sólo una capacidad determinante en los límites absolutos de distribución. Junto con el fitoclima, la competencia con otros taxones arbóreas forestales suele ser identificada como una causa importante que rige la distribución de las formaciones de *Quercus* en la Península Ibérica (SORIANO *et al.*, 2004).

Esta última faceta es de vital importancia para la correcta evaluación de la diversidad de estas cubiertas arbóreas, puesto que este concepto se compone en realidad de dos elementos: La riqueza o número de los elementos estudiados y las proporciones relativas entre estos elementos (MAGURRAN, 1989). Aspectos relativos a la influencia de la dominancia entre especies y la diversidad han sido ampliamente tratados en la literatura especializada (WHITTAKER, 1965) aunque no desde un punto de vista fitoclimático.

## 2. Objetivos

En el presente trabajo se ensaya una metodología de evaluación de la influencia que el aumento de las temperaturas puede tener sobre la diversidad potencial de las cubiertas arbóreas de Castilla y León, basado en modelos fitoclimáticos multivariantes, todo ello en términos de riqueza de especies arbóreas principales y de las relaciones de competencia entre ellas.

En particular, se intentará una aproximación a cuestiones tales como cual podría ser el impacto global de un posible calentamiento general del clima sobre el territorio castellano y leonés, y en qué áreas geográficas de la Comunidad ese impacto estará asociado con una disminución de la diversidad fitoclimática y en cuales estará asociado con un aumento. El estudio de la variación de la polivalencia fitoclimática en función del tipo de formación forestal nos permitirá evaluar cuales de estas formaciones verían aumentada su vulnerabilidad frente al cambio climático, en términos de disminución de su complejidad y estabilidad. Se intentará además una primera aproximación cartográfica.

## 3. Metodología

A partir de la base de datos de parcelas de muestreo correspondientes al II Inventario Forestal Nacional, se seleccionaron los 35.767 puntos con presencia natural de 16 especies

arbóreas forestales como especies principales de la formación forestal en la España peninsular. La selección de parcelas se hizo mediante la utilidad informática BASIFOR (DEL RÍO *et al.*, 2001) segregando aquellos registros con presencia natural de cada especie como primera dominante de la formación: *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Abies pinsapo*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Quercus ilex* subsp. *ilex*, *Quercus suber*, *Quercus canariensis*, *Quercus faginea*, *Quercus pyrenica*, *Quercus humilis* y *Juniperus thurifera*. No se consideraron a efectos de este ensayo *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* y *Pinus halepensis*, por presentar algunos problemas de discriminación entre masas naturales y artificiales que requieren consideraciones más detalladas, que se estudiarán en el futuro.

Los 35.767 puntos de muestreo fueron identificados por sus coordenadas UTM (Huso 30) y su altitud, y se trataron con el programa informático FITOCLIMOAL'2000 (GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ CAMACHO, 2000) para la obtención de los datos mensuales brutos de temperatura y precipitación conforme a los modelos de estimaciones termopluviométricas regionalizadas de SÁNCHEZ-PALOMARES *et al.* (1999). Posteriormente, con el mismo programa fueron hallados los valores de los 12 factores fitoclimáticos de la tabla 1.

El sistema fitoclimático utilizado es el basado en los modelos de ALLUÉ-ANDRADE (1990 y 1997) modificados por GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ CAMACHO (2003) por permitir no sólo la adscripción meramente cualitativa de una estación a una categoría fitoclimática previamente definida, sino además una cuantificación del nivel de adecuación de la estación a dicha categoría o tipo fitoclimático y también al resto de tipos del sistema, mediante la utilización de “*coordenadas de posición*” y de “*distancias fitoclimáticas*” relativas entre sí y referidas a ámbitos fitoclimáticos factoriales.

Se asignó a cada especie un ámbito factorial de carácter autoecológico establecido a partir de los puntos de muestreo que le corresponden. Conforme a GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ CAMACHO (2003), la frontera de cada ámbito puede ser definido de forma muy fiel a la nube de puntos del hiperespacio factorial de 12 dimensiones mediante el cálculo de una envolvente convexa que lo convierte en un hiperpoliedro y que puede proyectarse en planos formados por parejas de factores para realizar los cálculos propios del modelo fitoclimático.

Tabla 1. Factores fitoclimáticos utilizados en el modelo

FACTOR	SIGNIFICADO	UNIDAD
<b>K</b>	Intensidad de la aridez. Calculada por el cociente $As/Ah$ , siendo $Ah$ el área húmeda de climodiagrama (curva de $P_i$ por encima de la de $T_i$ , es decir $2T_i < P_i$ ) y $As$ el área seca del climodiagrama (curva de $P_i$ por debajo de la de $T_i$ , es decir $2T_i > P_i$ ).	
<b>A</b>	Duración de la aridez, en el sentido de GAUSSEN, es decir, el número de meses en que la curva de $T_i$ se sitúa por encima de la de $P_i$ , es decir cuando $2T_i > P_i$ .	meses
<b>P</b>	Precipitación anual total	mm.
<b>PE</b>	Precipitación estival mínima (Junio, Julio, Agosto o Septiembre)	mm.
<b>TMF</b>	Temperatura media mensual más baja	°C
<b>T</b>	Temperatura media anual	°C
<b>TMC</b>	Temperatura media mensual más alta	°C
<b>TMMF</b>	Temperatura media de las mínimas del mes de temperatura media más baja	°C
<b>TMMC</b>	Temperatura media de las máximas del mes de temperatura media más alta	°C
<b>HS</b>	Helada segura. Calculada como nº de meses en que $T_i \leq 4^\circ\text{C}$	meses
<b>PV</b>	Periodo de actividad vegetal libre, calculada como el número de meses en que $T_i \geq 7,5^\circ\text{C}$ excluidos los periodos con $A > 0$	meses
<b>OSC</b>	Oscilación térmica. Calculada como $TMC - TMF$	°C

La base geográfica sobre la que se aplicó el sistema fitoclimático así construido fue la base de datos factoriales procedente del modelo digital de elevaciones de la Península Ibérica conocido como GTOPO30 del U.S. Geological Survey recortado para Castilla y León, con una resolución de aproximadamente 1 km de lado, previamente tratado mediante FITOCLIMOAL'2000 para hallar el valor de los factores fitoclimáticos para cada uno de sus puntos. Este modelo consta de 94.141 puntos geográficos identificados por sus coordenadas UTM en huso 30 y su altitud.

El resultado de diagnosticar mediante el sistema fitoclimático autoecológico de especies arbóreas principales los 94.141 puntos de la base de datos factorial de la España peninsular es un conjunto de espectros de diagnosis cuya anotación abreviada es del tipo:

$$(e_a.A; e_b.B; e_c.C; e_d.D; \dots e_i.I)$$

para  $i=16$  especies, en donde A, B, C, D ...I son los códigos abreviados (tabla 1) de las especies en el interior de cuyos ámbitos fitoclimáticos definidos por la envolvente convexa se incluye el punto analizado y en donde  $e_i$  ( $\geq 0$  y  $\leq 1$ ) es el escalar de adecuación de la estación estudiada al ámbito fitoclimático de la especie  $i$ , con  $e_a > e_b > e_c > e_d > \dots > e_i$  (GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ CAMACHO, 2005). Por ejemplo, una estación cuyo espectro de diagnosis sea (0,87.Qfa; 0,73.Jth; 0,51.Pni; 0,17.Psy) presenta compatibilidad fitoclimática con quejigares de *Quercus faginea*, sabinares de *Juniperus thurifera*, pinares de *Pinus nigra* y pinares de *Pinus sylvestris* en orden de mayor a menor adecuación al sitio. De hecho cada escalar funciona como índice de idoneidad fitoclimática de la especie forestal respecto a su óptimo.

A los efectos de este trabajo se entiende por “idoneidad fitoclimática” (ALLUÉ CAMACHO, 1996) el grado de adecuación de un lugar para acoger a determinados taxones o sintaxones, todo ello desde el punto de vista mixto de su perdurabilidad (capacidad de autoregeneración), de su competitividad con otras especies y resistencia a enfermedades principalmente.

La diversidad de cubiertas forestales arbóreas compatibles desde un punto de vista fitoclimático se estimó mediante un indicador que tuviese en cuenta los 2 componentes básicos de este concepto: Riqueza y proporcionalidad relativa. Una determinada estación presentará alta diversidad cuando no sólo el número de especies arbóreas principales compatibles con esa estación sea elevado (riqueza), sino cuando además todas esas cubiertas compatibles tengan un grado de adecuación a la estación elevado (proporcionalidad) sin que haya una dominancia excesiva de una especie sobre las demás.

Para la estimación de la diversidad en cada una de las 94.141 estaciones consideradas se utilizó el índice de Shannon (en adelante  $I_d$ ), multiplicado por 100 por comodidad de escala, que es el índice más comúnmente utilizado en este tipo de estimaciones (MAGURRAN, 1989):

$$I_d = -100 \cdot \sum p_i \cdot \ln(p_i) \text{ en donde } p_i = e_i / \sum e_i$$

Como ejemplo, para la estación antes citada, un espectro de diagnosis fitoclimática (0,87.Qfa; 0,73.Jth; 0,51.Pni; 0,17.Psy), compatible con 4 formaciones forestales pero que

presenta un fuerte desequilibrio de adecuaciones entre la especie de mayor adecuación (*Quercus faginea*) y la de menor adecuación (*Pinus sylvestris*) daría un  $Id=126$ , mientras que otra estación con el mismo número (riqueza) de especies compatibles pero con mayor equilibrio entre adecuaciones como (0,87.Qfa; 0,85.Jth; 0,80.Pni; 0,79.Psy) daría un  $Id=139$ . Este compromiso entre riqueza y equilibrio ha sido ampliamente tratado en la literatura especializada desde múltiples puntos de vista (MAY, 1973; PIMM, 1984). Una primera evaluación de la diversidad fitoclimática para Castilla y León puede encontrarse en (GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ, 2008a) y para la Península Ibérica en (GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2008b).

Con objeto de evaluar el posible impacto de un aumento de temperatura sobre el índice anterior, se han generado 3 posibles situaciones, una de ellas correspondiente al periodo de estimación de SÁNCHEZ-PALOMARES *et al.* (1999), esto es 1940-1989 y otras 2 más consistentes en un aumento térmico general y homogéneo de 1° C y de 2° C respectivamente, manteniendo constante la precipitación. La metodología de diagnosis fitoclimática expuesta se ha aplicado sobre bases de datos de variables regionalizadas correspondientes a estas 3 situaciones.

#### 4. Resultados

En la figura 1 se expone el resultado del cálculo del Índice de Shannon para las situaciones térmicas 1, 2 (aumento de 1° C) y 3 (aumento de 2° C). El promedio del valor de  $Id$  que es de 90,4 en la situación correspondiente al periodo 1940-1989 disminuye a 81,9 en la situación térmica 1 y a 68,7 en la situación térmica 2.

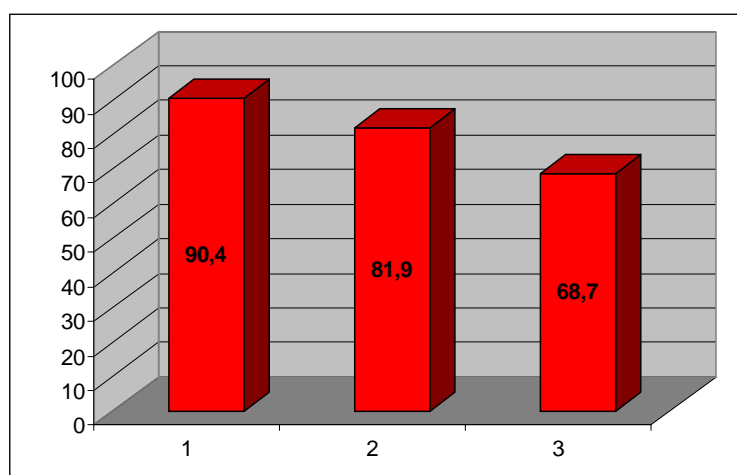
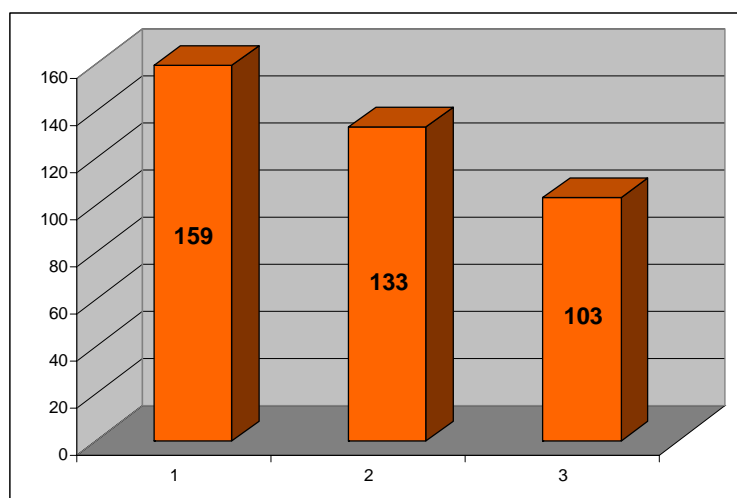


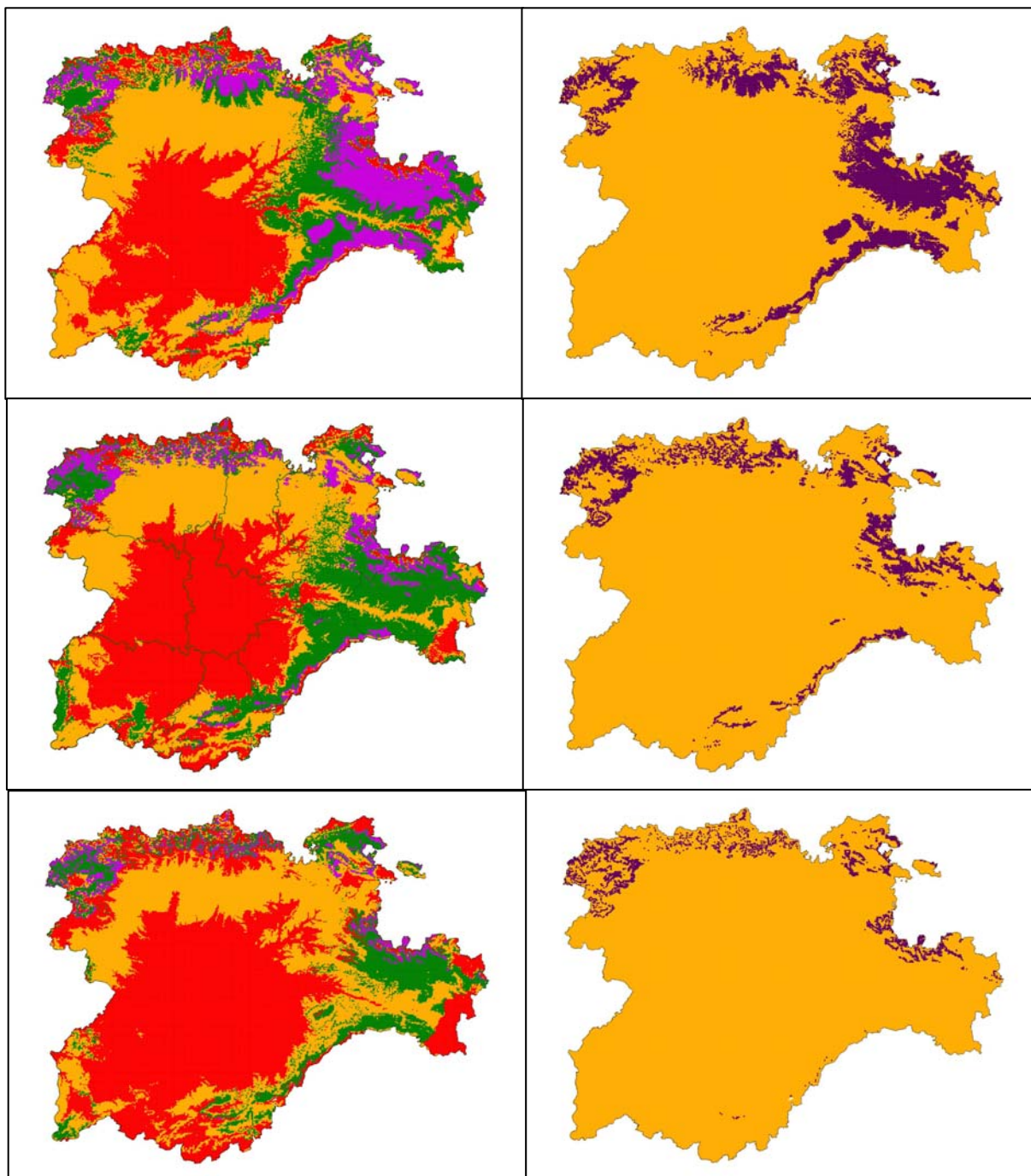
Figura 1. Disminución del Índice de Shannon en los escenarios térmicos 1, 2 y 3. En ordenadas se muestra el valor promedio del Índice de Shannon ( $Id$ ) y en abscisas el indicativo de escenario térmico.

En términos del catálogo o número de espectros de diagnosis fitoclimática distintos que podemos encontrar en el territorio castellano y leonés, la figura 2 expone la disminución paulatina que se produce desde la situación térmica 1 a la situación térmica 3, pasando de 159 espectros en la situación 1 a 133 en la situación 2 y a 103 en la situación 3.



*Figura 2. Disminución del número de tipos de espectros fitoclimáticos en las situaciones térmicas 1, 2 y 3*

En la figura 3 puede apreciarse la distribución territorial del Índice de Shannon en Castilla y León en las situaciones térmicas 1, 2 y 3, así como el detalle de la disminución superficial que sufre la clase de máxima diversidad, correspondiente a valores de Id entre 150 y 300.



*Figura 3. Los 3 mapas de la columna izquierda representan de arriba abajo la distribución territorial de la diversidad fitoclimática evaluada a través del Índice de Shannon (en rojo de 0 a 100, en naranja de 100 a 125, en verde de 125 a 150 y en violeta de 150 a 300) en la situaciones térmicas 1, 2 y 3. Los mapas de la columna derecha representan de arriba a abajo el detalle de disminución de la categoría de máxima diversidad ( $150 < Id < 300$ ) entre la situaciones 1 y 3.*

Respecto a la composición de las formaciones forestales, en la tabla 2 se ha incluido el valor medio del Índice de Shannon pormenorizado por especie principal de la formación forestal y en la figura 4 se ha realizado una gráfica que permite una más cómoda visualización de los resultados.



Tabla 2. Variación del Índice de Shannon en función de la especie principal de la formación forestal entre las situaciones térmicas 1 y 3

Especie Principal	Variación Media	Desv.st.
<i>Quercus suber</i>	-60,29	41,94
<i>Juniperus thurifera</i>	-50,15	30,78
<i>Pinus nigra</i>	-40,85	22,23
<i>Quercus faginea</i>	-30,23	36,78
<i>Quercus pyrenaica</i>	-22,01	55,18
<i>Quercus robur</i>	-15,04	36,83
<i>Quercus petraea</i>	-11,44	30,59
<i>Quercus ilex ballota</i>	+0,77	7,22
<i>Fagus sylvatica</i>	+25,81	43,52
<i>Pinus sylvestris</i>	+87,53	46,54

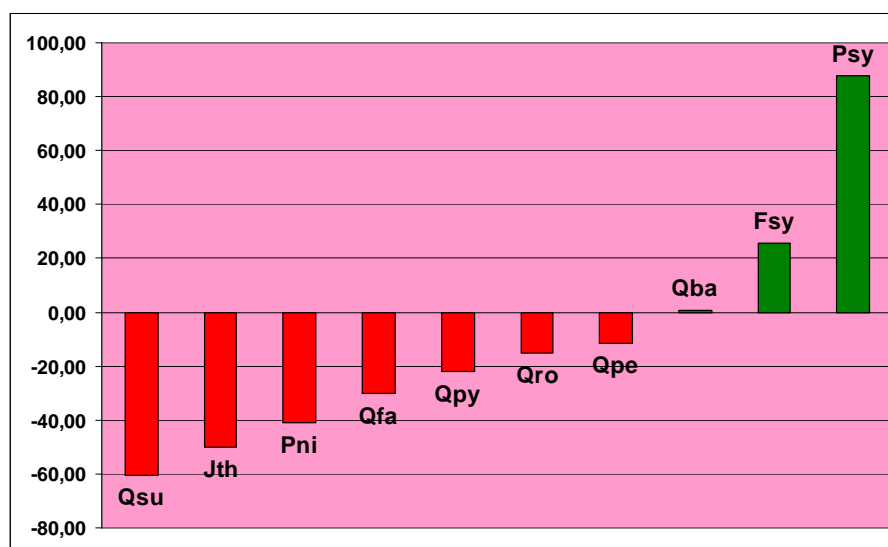


Figura 4. Variación del Índice de Shannon en función de la especie principal de la formación forestal entre las situaciones térmicas 1 y 3

Las formaciones encabezadas por *Quercus suber*, *Juniperus thurifera*, *Pinus nigra*, *Quercus faginea*, *Quercus pyrenica*, *Quercus robur* y *Quercus petraea* sufren disminuciones medias del valor de Índice de Shannon, mientras que las formaciones encabezadas por *Fagus sylvatica* y *Pinus sylvestris* presentan aumentos en ese valor medio. Los encinares de *Quercus ilex* subsp. *ballota* presentan una variación media despreciable.

Las formaciones arbóreas más desfavorecidas en término medio por el aumento térmico producido entre la situación 1 y la situación 3 son los alcornoques, mientras que los pinares de pino silvestre son las formaciones más favorecidas en término medio.

En la figura 5 se expone la distribución altitudinal de la variación del Índice de Shannon entre las situaciones 1 y 3. Como puede comprobarse, se da una clara situación diferencial entre los territorios situados a menos de 1300 m, en los que se produce por término medio una

disminución de la diversidad fitoclimática y los territorios situados a más de 1300 m, en los que se produce por término medio un aumento de la diversidad fitoclimática. Las mayores disminuciones se dan por debajo de los 500 m de altitud mientras que los aumentos se dan alrededor de los 1800 m.

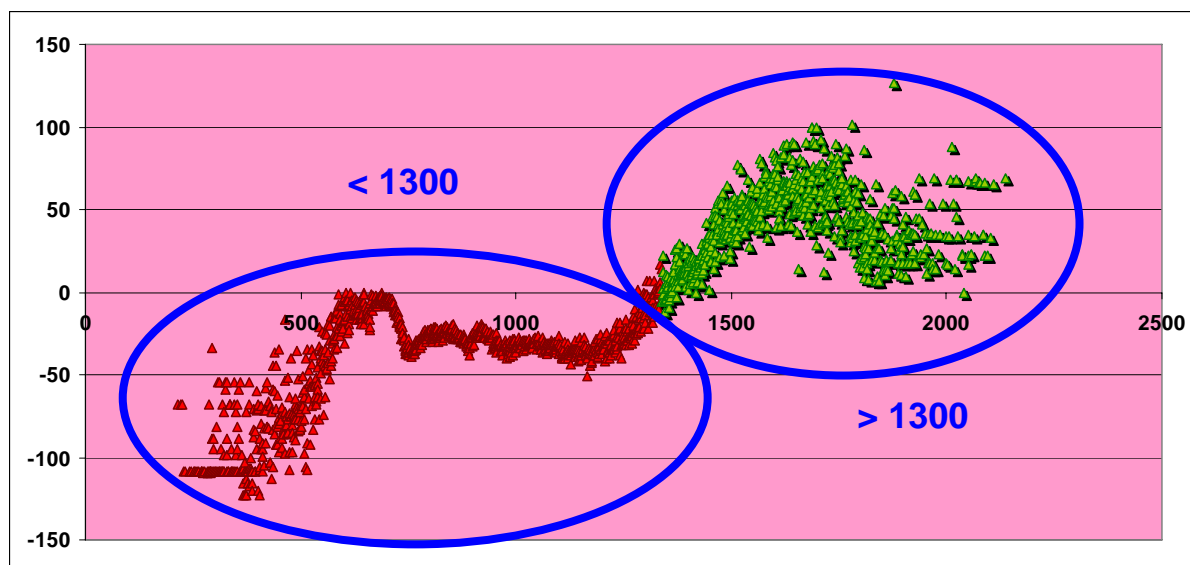


Figura 2. Aumento de la vulnerabilidad (disminución del Índice de Shannon) a altitudes inferiores a 1300 m y disminución por encima de los 1300 m en Castilla y León

## 5. Discusión y conclusiones

El presente trabajo abre nuevos horizontes metodológicos para el estudio de diversidad vegetal desde un punto de vista fitoclimático. El enfoque aplicado en esta aproximación a un problema tan complejo, con ser novedosa en nuestro panorama actual de estudios sobre ecología vegetal, presenta no obstante algunas limitaciones.

Por una parte hay que llamar la atención sobre el limitado número de especies consideradas en la construcción del sistema fitoclimático. Si bien entre las especies consideradas están prácticamente todas las que encabezan series de vegetación potencial, deberán considerarse en el futuro algunas especies importantes en el paisaje forestal de la España peninsular, como *Pinus pinaster*, *Pinus halepensis* o *Pinus pinea*, cuya amplia utilización en labores de repoblación exigirá en el futuro un cuidadoso filtrado de las parcelas correspondientes a masas artificiales.

La consideración de especies arbóreas secundarias, no propiamente dominantes en el paisaje vegetal de la España peninsular pero de gran importancia ecológica y diagnóstica en sus bosques será otra asignatura pendiente para futuras aproximaciones al problema, con las inevitables consecuencias sobre la capacidad y ralentización de los complejos cálculos informáticos necesarios para aplicar modelos fitoclimáticos con más de 25 especies, que en el estado actual de desarrollo de los procesadores para PC llevará a tiempos de proceso para un ámbito y precisión como los de este estudio de varios meses de duración.

Por otra parte, las bases metodológicas del presente trabajo descansan sobre una importante simplificación termopluiométrica. Por una parte se ha considerado que el aumento de temperaturas es homogéneo tanto para las máximas como para las mínimas e igual para cualquier mes del año. Asimismo, el aumento se ha considerado homogéneo para todo el territorio. Por último, la pluviometría se ha considerado invariable. En futuras aproximaciones de este problema sería conveniente la utilización de escenarios climáticos oficiales que tengan en cuenta las fuentes de variación que aquí se han obviado, ya que este trabajo se centra más en establecer bases metodológicas que en explotar resultados concretos. No obstante lo anterior, no es menos cierto que en el estado actual de conocimientos no parece haberse encontrado todavía un patrón claro de cambio en las precipitaciones de la España peninsular (BRUNET *et al.*, 2008) por lo que no parece del todo descabellado el considerar, como se ha hecho en este trabajo, una situación de precipitación constante en promedio y los rangos de variación al alza de las temperaturas entran dentro de los rangos que se barajan actualmente para los próximos decenios.

Con estas salvedades, los resultados obtenidos para Castilla y León tras aplicar la metodología propuesta permiten una serie de interpretaciones. Por una parte parece clara la idea de que una parte importante del territorio de la Comunidad sufrirá, ante escenarios de calentamiento, disminuciones en su diversidad y polivalencia fitoclimática, con pérdida de la capacidad de acogida de grandes áreas del territorio. Este empobrecimiento en términos fitoclimáticos, puede ser importante, pues un aumento homogéneo de temperaturas de 2° C a precipitación constante representaría una pérdida de un tercio de la polivalencia fitoclimática, evaluada a través del Índice de Shannon y casi la mitad del catálogo de espectros fitoclimáticos.

Si asumimos que existe relación entre la diversidad fitoclimática y la diversidad de las cubiertas forestales de un territorio, nos hallaremos en el futuro ante situaciones de simplificación de algunos de nuestros sistemas arbolados, principalmente los situados a baja altitud y por el contrario un aumento de la complejidad de las formaciones aciculiperennifolias de montaña. En cualquier caso, más allá de casos extremos que representarían la desaparición de una especie de una formación forestal, nos encontraremos ante situaciones más sutiles, relacionadas con la variación de los patrones internos de competencia interespecífica en el seno de nuestros bosques, lo cual deberá conducirnos a pautas de gestión y manejo de estos sistemas adaptadas a cada situación.

Será importante prestar especial atención a aquellas formaciones para las que se ha detectado mayor vulnerabilidad, como es el caso de los alcornoques, ya de por sí escasos y en algunos casos incluso marginales en nuestro territorio. En la otra cara de la moneda, algunas formaciones de montaña como pinares de pino silvestre podrán ver aumentada su diversidad de composición al migrar en altura frondosas de los pisos inmediatamente inferiores, como *Fagus sylvatica* o *Quercus petraea*. La situación diferencial que podría producirse en el futuro, consistente en el empobrecimiento de los pisos inferiores y en el enriquecimiento de los superiores serán retos futuros para los gestores.

Pero muy especialmente y más allá de los resultados concretos obtenidos para Castilla y León, el presente trabajo abre nuevos horizontes metodológicos para el estudio de los efectos del cambio climático sobre la diversidad vegetal. En particular, las estimaciones futuras de dinámica numérica factorial tales como posibles aumentos de la temperatura o disminución de las precipitaciones podrán interpretarse de forma más eficiente mediante esta metodología para predecir futuros cambios en los valores de la diversidad forestal, modificaciones en las capacidades de acogida del medio y las relaciones de competencia entre las especies principales de la formación. Todo ello permitirá perfeccionar los mecanismos de evaluación y toma de decisiones preventivas y amortiguadoras en escenarios futuros de incertidumbre fitoclimática y avanzar por tanto en alguna de las líneas prioritarias de investigación en esta materia (GRACIA *et al*, 2005).

## 6. Bibliografía

ALLUÉ-ANDRADE, J.L.; 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 221 pp.

ALLUÉ-ANDRADE, J.L.; 1997. Tres nuevos modelos para la fitoclimatología forestal: Diagnósis, Idoneidad y Dinámica de fitoclimas. Actas I Congreso Forestal Hispano-Luso. Irati'97. 31-40. Pamplona.

ALLUÉ CAMACHO, C.; 1996. Un modelo para la caracterización fitoclimática de individuos, comunidades y fitologías. El modelo idoneidad y su aplicación a las comunidades pascícolas. *Ecología* 10: 209-230. Madrid.

BRUNET, M.; CASADO, M.J.; DE CASTRO, M.; GALÁN, P.; LÓPEZ, J.A.; MARTÍN, J.M.; PASTOR, A.; PETISCO, E.; RAMOS, P.; RIBALAYGUA, J.; RODRÍGUEZ, E.; SANZ, I. y TORRES, L.; 2008. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Agencia Estatal de Meteorología. 157 pp. Madrid.

DAVIS, A.J.; JENKINSON, L.S.; LAWTON, J.L.; SHORROCKS, B. & WOOD, S.; 1998. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. *Nature*, 391: 783-786.

DEL RÍO M., RIVAS, J., CONDES, S., MARTINEZ-MILLÁN, J., MONTERO, G., CAÑELLAS, I., ORDÓÑEZ, C., PANDO, V., SAN MARTÍN, R. & BRAVO, F.; 2001. BASIFOR: Aplicación Informática para el manejo de bases de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional - III Congreso Forestal Español, Granada. III. 49-54.

FERNÁNDEZ, F., LOIDI, J. & MORENO, J.C.; 2005. Impactos sobre la biodiversidad vegetal. En: Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (Moreno, J.M., dir.). Ministerio de Medio Ambiente. 183-247.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. y ALLUE CAMACHO, C.; 2000. FITOCLIMOAL'2000, un programa para la diagnóstico, homologación y estudio de dinámicas e idoneidades fitoclimáticas. *Montes* 67: 9-18.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. y ALLUÉ CAMACHO, C.; 2003. Aplicación de la teoría de la envolvente convexa a la mejora del sistema fitoclimático Allué-Andrade. *Ecología* 17: 329-343.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. y ALLUÉ CAMACHO, C.; 2005. Ensayo de un sistema fitoclimático de carácter autoecológico para especies arbóreas forestales en la península ibérica y su aplicación en labores de repoblación forestal. *Actas IV Congreso Forestal Español*. Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. y ALLUÉ CAMACHO, C.; 2008a. Estimación de la diversidad fitoclimática potencial de cubiertas arbóreas en Castilla y León. *Montes* 94: 9-15.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. & ALLUÉ CAMACHO, C.; 2008b. Phytoclimatic versatility and potencial diversity of natural arboreal forest cover in peninsular Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(3): 297-307. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentación (INIA). Madrid.

GRACIA, C., GIL, L. y MONTERO, G.; 2005. Impactos sobre el sector forestal. En: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático* (Moreno, J.M., dir.). Ministerio de Medio Ambiente. 399-435.

MAGURRAN, A.E.; 1989. *Diversidad ecológica y su medición*. Editorial Vedral. Barcelona. 200 pp.

MAY, R.M.; 1973. *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton University Press. Princeton.

PEARSON, R.G. & DAWSON, T.P.; 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope model useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371.

PIMM, S.L.; 1984. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307: 321-326.

SÁNCHEZ PALOMARES, O., SÁNCHEZ SERRANO, F. & CARRETERO CARRERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termopluviométricas para la España peninsular*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. 192 pp.

SORIANO, C., GASTÓN, A. & HERRERO, B.; 2004. Distribución de las especies españolas de *Quercus*. Notas sobre su ecofisiología. En: TUSET, J.J. & SANCHEZ, G.; 2004: *La seda: El decaimiento de encinas, alcornoques y otros Quercus en España*. Dirección General para la Biodiversidad. Serie Técnica. Naturaleza y Parques Nacionales. 93-124. Madrid.

WALTER, H.; 1977. *Zonas de vegetación y clima*. Ed. Omega. Barcelona. 245 pp.

WHITTAKER, R.H.; 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 147: 250-260.