



5º CONGRESO FORESTAL  
ESPAÑOL

# 5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

---

REF.: 5CFE01-039

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León  
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009  
ISBN: 978-84-936854-6-1  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## El hábitat climático de los hayedos en España: aplicación de modelos aditivos generalizados a los datos del Inventario Forestal Nacional

GASTÓN GONZÁLEZ, A.<sup>1</sup>, GARCÍA VIÑAS, J.I.<sup>1</sup> y ROPERO HINOJOSA, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Producción Vegetal: Botánica y Protección Vegetal, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.

### Resumen

Se han estudiado los rangos óptimos para los hayedos españoles con respecto a seis parámetros climáticos: temperatura media anual, temperatura media del mes más cálido, temperatura media del mes más frío, precipitación anual media, precipitación estival media y duración media del periodo árido. Se han usado modelos aditivos generalizados con función de enlace logit, para ajustar curvas de regresión entre la variable dependiente binaria (dominancia/no dominancia de *Fagus sylvatica* en las parcelas del Inventario Forestal Nacional) y cada variable independiente (parámetros climáticos estimados con Estclima). El rango en el que la probabilidad de presencia según el modelo es significativamente mayor que la prevalencia en la muestra se ha considerado óptimo para el hayedo. Los rangos obtenidos se han comparado con el hábitat central según la metodología de la autoecología paramétrica de Gandullo. Los valores umbral obtenidos con los modelos aditivos generalizados son significativamente menores para los tres parámetros termométricos. Posiblemente se deba a que los hábitats centrales están sesgados hacia los valores de temperatura más frecuente en el área de estudio, ya que se obtienen calculando estadísticos de posición (percentiles 10% y 90%). Los umbrales inferiores de los parámetros pluviométricos y ambos umbrales del parámetro duración del periodo árido prácticamente coinciden en ambos métodos. Según los modelos aditivos generalizados, los umbrales pluviométricos superiores estarían en climas más húmedos que los del área de estudio. En estos casos no tiene sentido la comparación con los hábitats centrales, que calculan por sistema ambos umbrales aunque los verdaderos límites no estén dentro del rango de valores posibles en el área de estudio. El uso de un método al que no le afecta el sesgo hacia los valores más frecuentes en el área de estudio permite revisar el hábitat de los hayedos en España, obteniendo rangos óptimos más fríos y más lluviosos.

### Palabras clave

Autoecología, *Fagus sylvatica*, modelos de distribución de especies, nicho ecológico efectivo.

### 1. Introducción

Conocer los factores que determinan la distribución de las especies es fundamental para la ecología aplicada a la gestión del medio natural y en especial para la selección de especies en el marco de la restauración de ecosistemas. Dado que la distribución de las especies depende en gran medida del clima (WOODWARD, 1987), la mayoría de los estudios autoecológicos consideran algún factor climático.

El hábitat climático de los hayedos españoles ha sido estudiado previamente con diferentes metodologías del tipo envolvente ambiental (ALLUÉ, 1990; GANDULLO et al., 2004; SÁNCHEZ PALOMARES et al., 2004; GARCÍA-LÓPEZ et al., 2005). Este tipo de métodos han sido muy utilizados entre los años 60 y 90 del siglo XX (GUISAN & ZIMMERMANN, 2000) pero otros métodos como los modelos aditivos generalizados (GAM por su acrónimo en inglés) han ganado protagonismo a partir de los años 90 (GUISAN et al.

2002). A diferencia de las envolventes ambientales que solo precisan de registros de presencia de la especie a estudiar, los GAM requieren también registros de ausencia. El Inventario Forestal Nacional (IFN) ofrece datos fiables de presencia y ausencia para las principales especies arbóreas españolas y los modelos de estimaciones climáticas como el de SÁNCHEZ PALOMARES et al. (1999) permiten caracterizar climáticamente las parcelas del IFN, ofreciendo así un marco idóneo para la aplicación de los GAM.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es actualizar el conocimiento sobre el hábitat climático de los hayedos españoles revisando los rangos óptimos propuestos hasta ahora mediante la aplicación de los modelos aditivos generalizados.

## 3. Metodología

La muestra la componen todas las parcelas del III Inventario Forestal Nacional de España (IFN3) situadas por encima del paralelo 40. Se han considerado presencias de hayedo las 3.004 parcelas en la que la primera especie dominante es *Fagus sylvatica* y ausencias las 62.132 restantes.

Las parcelas del IFN3 se han caracterizado climáticamente con seis parámetros (temperatura media anual, temperatura media del mes más cálido, temperatura media del mes más frío, precipitación anual media, precipitación estival media y duración media del periodo árido) estimados usando Estclima (SÁNCHEZ PALOMARES et al., 1999).

Los GAM son una extensión de los modelos lineales generalizados que evitan parte de la rigidez de estos últimos al introducir funciones no paramétricas que suavizan las curvas de regresión y se adaptan localmente a los datos. Considerando la presencia o ausencia de hayedo como variable dependiente se han ajustado seis modelos GAM univariantes con cada uno de los parámetros climáticos como variable independiente. Los GAM se han ajustado usando función de enlace logit con el método de WOOD (2004) para R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Las predicciones de los modelos a lo largo del gradiente de cada parámetro climático se han usado para trazar curvas de respuesta del hayedo frente a cada uno de ellos, junto al intervalo de confianza del 95%. Las probabilidades pronosticadas por el modelo se han reescalado usando la función de favorabilidad propuesta por REAL et al. (2006) que elimina el efecto de la prevalencia en la probabilidad pronosticada (proporción de casos positivos en la muestra). El rango del parámetro climático en el que la favorabilidad es significativamente mayor que 0,5 se ha considerado óptimo para el hayedo, esto equivale a considerar que el modelo pronostica presencia de hayedo cuando la probabilidad es significativamente mayor que la prevalencia. Este criterio para convertir en probabilidades en pronósticos de presencia o ausencia es de los más adecuados, tanto como otros de cálculo más complejo (LIU et al., 2005).

Siguiendo la metodología de Gandullo (véase por ejemplo GANDULLO et al., 2004) se han calculado los umbrales inferior y superior del hábitat central (percentil 10 y 90

respectivamente) y los límites inferior y superior (valores mínimo y máximo) para cada parámetro climático, considerando únicamente las parcelas con presencia de hayedo.

Las curvas de respuesta se han interpretado visualmente y los rangos óptimos para el hayedo obtenidos a partir de las curvas se han comparado con los umbrales inferior y superior del hábitat central.

#### 4. Resultados

Las curvas de respuesta obtenidas con los GAM permiten definir límites superior e inferior del rango óptimo para las tres variables termométricas y la aridez (véanse figuras 1, 2, 3 y 6), pero no para las variables pluviométricas, ya que por el lado más lluvioso el intervalo de confianza aumenta considerablemente impidiendo afirmar si la probabilidad de presencia de hayedo está por encima o por debajo de la prevalencia (véanse figuras 4 y 5).

Los rangos óptimos según los GAM son más amplios que el hábitat central en el caso de la temperatura media anual y del mes más cálido, y los límites inferiores de estos rangos son significativamente más bajos que los umbrales inferiores del hábitat central (esto último también en el caso de la temperatura media del mes más frío, véase tabla 1).

Los umbrales inferiores del hábitat central de los parámetros pluviométricos prácticamente coinciden con los límites inferiores del rango óptimo de los GAM (véase tabla 1). Según los GAM los límites superiores del rango óptimo estarían más allá de los valores máximos registrados en el área de estudio y por lo tanto muy por encima de los umbrales superiores del hábitat central (véanse figuras 4 y 5).

Ambos métodos prácticamente coinciden en el caso del parámetro duración del periodo árido (véase tabla 1).

Tabla 1. Comparación del hábitat central según el método de Gandullo con el rango óptimo según el GAM. \* indica que el límite superior del rango óptimo está fuera de los límites del área de estudio. T: temperatura media anual, TMC: temperatura media del mes más cálido TMF: temperatura media del mes más frío P: precipitación anual media, PE: precipitación estival media, A: duración media del periodo árido

Parámetro	Hábitat central (método de Gandullo)	Rango óptimo (GAM)
T (°C)	7,5 - 11,2	6,1 - 10,5
TMC (°C)	15,4 - 18,6	13,6 - 18,3
TMF (°C)	0,7 - 4,9	-0,6 - 3,4
P (mm)	965 - 1993	> 980 *
PE (mm)	142 - 311	> 150 *
A (meses)	0 - 0,06	0 - 0,09

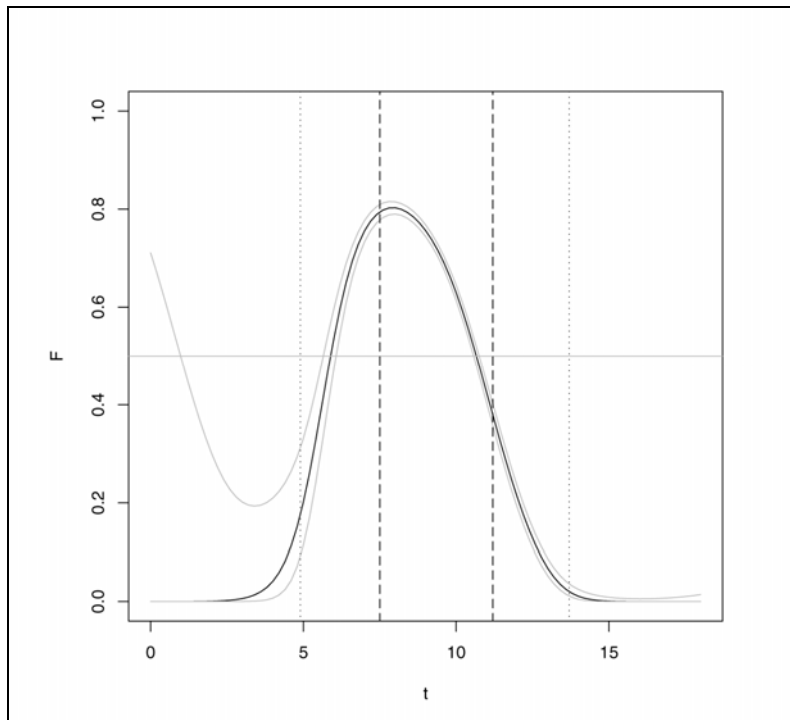


Figura 1. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la temperatura media anual según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris).  $F$ : probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006),  $t$ : temperatura media anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior el método de Gandullo.

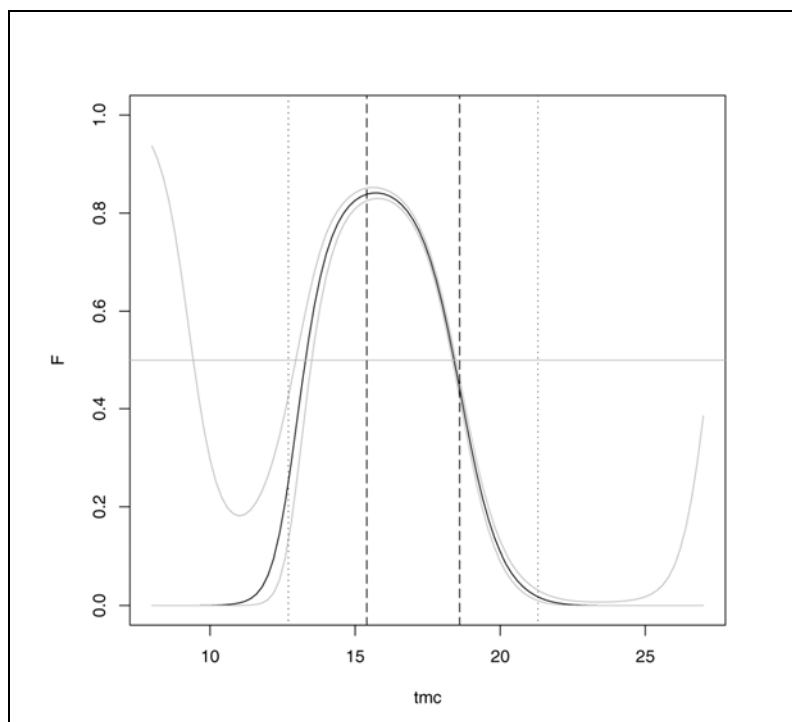


Figura 2. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la temperatura media del mes más cálido según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris).  $F$ : probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006),  $t_{mc}$ : temperatura media del mes más cálido ( $^{\circ}\text{C}$ ) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior según el método de Gandullo.

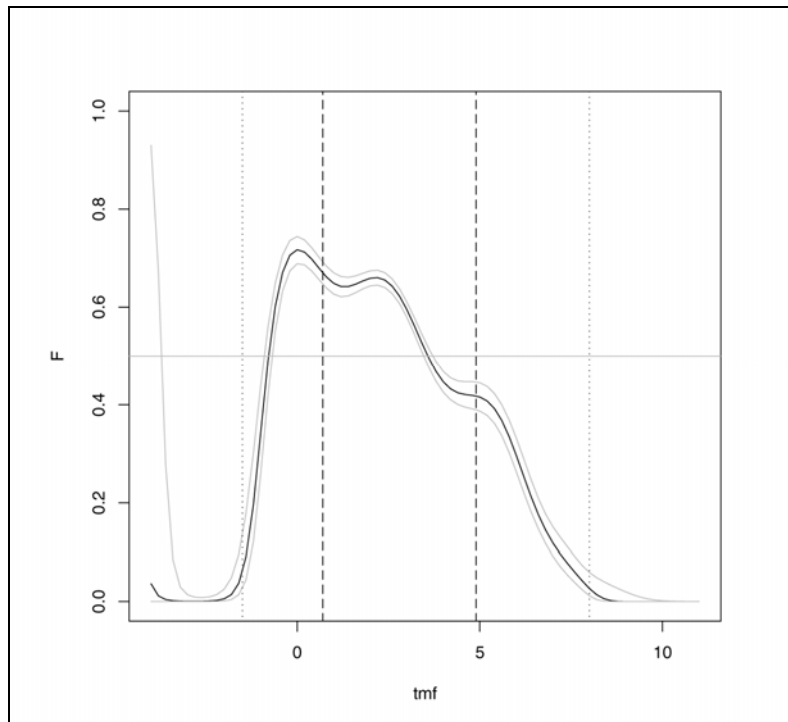


Figura 3. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la temperatura media del mes más frío según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris). F: probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006), tmf: temperatura media del mes más frío (°C) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior según el método de Gandullo.

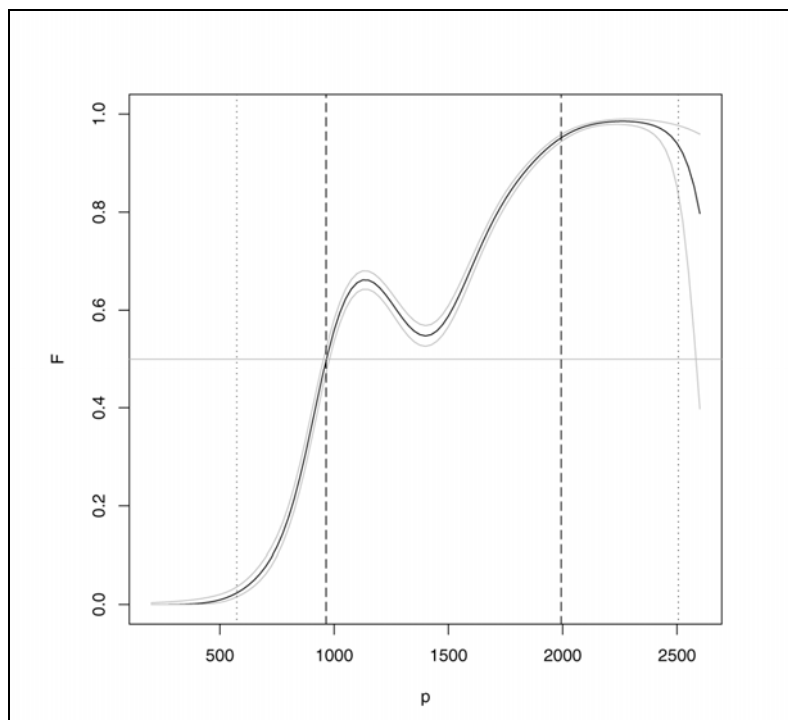


Figura 4. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la precipitación anual media según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris). F: probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006), p: precipitación anual media (mm) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior según el método de Gandullo.

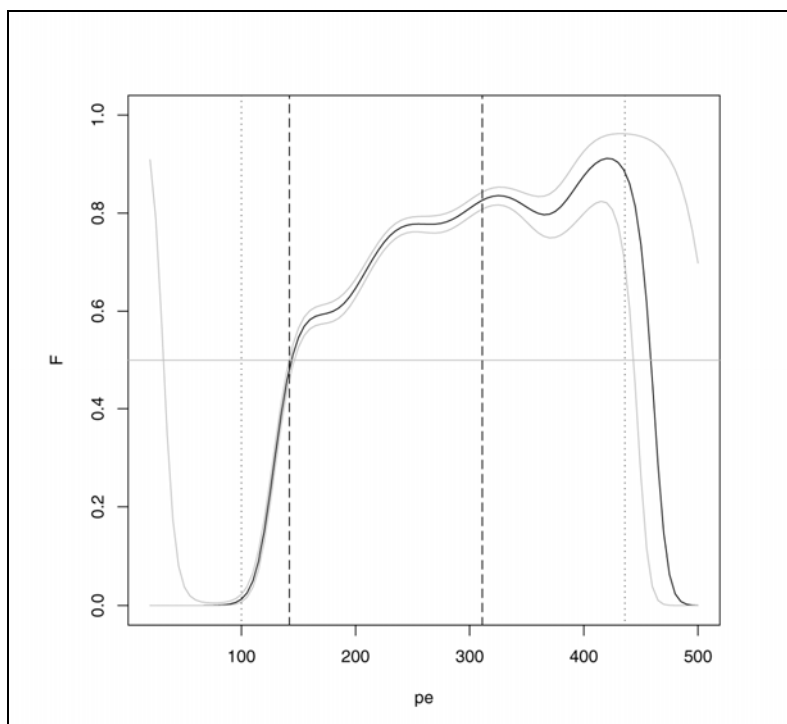


Figura 5. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la precipitación estival media según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris). F: probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006), pe: precipitación estival media (mm) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior según el método de Gandullo.

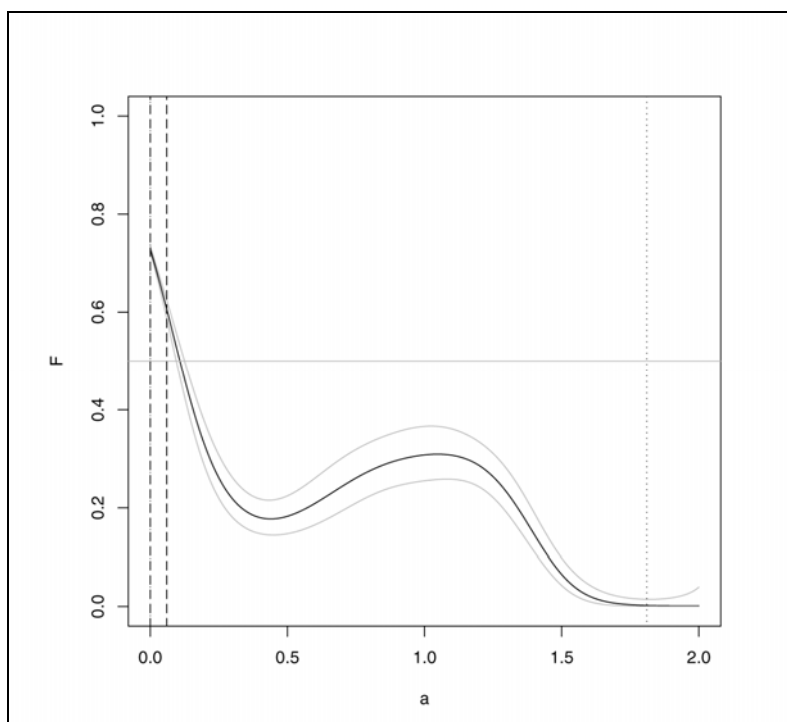


Figura 6. Curva de respuesta de la presencia de hayedo frente a la duración media de periodo árido según el modelo aditivo generalizado e intervalo de confianza al 95% (en gris). F: probabilidad de presencia reescalada con la función de favorabilidad (REAL et al. 2006), a: duración media del periodo árido (meses) El rango óptimo es el intervalo en el que la favorabilidad es significativamente superior a 0,5 (véase el texto para la justificación). Las líneas verticales indican los límites (líneas punteadas) y umbrales (líneas discontinuas) inferior y superior según el método de Gandullo.

## 5. Discusión

La diferencia fundamental entre ambos métodos en los parámetros termométricos es que el hábitat central está desplazado hacia temperaturas mayores que el rango óptimo según los GAM. Esto se debe a que el número absoluto de parcelas de hayedo en un rango de temperaturas dado no depende únicamente de la idoneidad de esa temperatura para la especie, también depende del número de parcelas en general que tengan esa temperatura. Por ejemplo, 632 de las 10.441 parcelas con temperatura media anual entre 10 y 11 °C y 112 de las 1.198 entre 6 y 7 °C son hayedos. Aunque el éxito de establecimiento del hayedo es 1,5 veces superior entre 6 y 7 °C que entre 10 y 11 °C hay más parcelas de hayedo entre 10 y 11 °C simplemente porque los lugares con esa temperatura son mucho más abundantes. Más parcelas de hayedo hacia uno de los lados del gradiente de temperatura implica que los umbrales se desplazaran hacia ese lado porque se trata de estadísticos de posición (percentiles). Los climas más frecuentes en el área de estudio son más cálidos que los que ocupan los hayedos y por lo tanto el hábitat central está sesgado hacia temperaturas más altas. Los GAM evalúan la proporción de parcelas de cada valor del parámetro ocupadas por hayedo y por lo tanto no son sensibles a ese sesgo.

Los hábitats centrales se calculan asumiendo que la respuesta de la especie a los parámetros es unimodal y por eso se calculan el percentil 10 y 90 por sistema. Cuando los valores limitantes a la distribución de la especie están en climas no presentes en el área de estudio, como en el caso de los parámetros pluviométricos de este estudio, esta forma de proceder no tiene sentido. Según el método de Gandullo los hayedos entre 2.000 y 2.500 mm de precipitación media anual ocupan un hábitat marginal, sin embargo la probabilidad de presencia de hayedo según el GAM es máxima en este intervalo. Por encima de 2.500 mm no hay parcelas de hayedo pero tampoco hay demasiadas parcelas y eso hace que el intervalo de confianza de los GAM aumente indicando que con los datos disponibles no se puede afirmar nada fiable sobre la idoneidad de climas tan lluviosos para el hayedo.

El sesgo que pueden sufrir los métodos de envolvente ambiental como el de Gandullo los hace poco adecuados cuando se dispone de datos de presencia y ausencia. Incluso cuando faltan datos de ausencia fiables, la generación de pseudo-ausencias tomando puntos aleatoriamente en el área de estudio permite utilizar los GAM con mejores resultados que los métodos de envolvente ambiental (ELITH et al., 2006). Cuando no hay datos de ausencia y no existe la posibilidad de generarlos los métodos de envolvente ambiental siguen siendo la mejor alternativa.

## 6. Conclusiones

El uso de los modelos aditivos generalizados, un método al que no le afecta el sesgo hacia los valores más frecuentes en el área de estudio y que no asume de antemano la forma de la curva de respuesta frente a los parámetros ecológicos, ha permitido revisar el hábitat climático de los hayedos en España, obteniendo rangos óptimos más fríos y más lluviosos que los obtenidos con el método de Gandullo.



## 7. Bibliografía

ALLUÉ, J.L.; 1990. Atlas fitoclimático de España. INIA, 221 pp., Madrid.

ELITH, J., GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B. A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. M.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S. J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBERÓN, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, N. E.; 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.

GANDULLO, J.M.; BLANCO, A.; SÁNCHEZ PALOMARES, O.; RUBIO A.; ELENA R.; GÓMEZ V.; 2004. Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles. Monografías INIA: Serie Forestal. N.º 8, 299 pp., Madrid.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M.; ALLUÉ CAMACHO, C.; GONZALO JIMÉNEZ, J.; 2005. Caracterización y potencialidades de los hayedos (*Fagus sylvatica* L.) en la Península Ibérica. Actas IV Congreso Forestal Español. Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N.E.; 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135, 147–186.

GUISAN, A.; EDWARDS, T. C.; HASTIE, T.; 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. model.* 157, 89-100.

LIU, C.; BERRY, P. M.; DAWSON, T. P.; PEARSON, R. G.; 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28, 385-393.

R DEVELOPMENT CORE TEAM; 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

REAL, R.; BARBOSA, A. M.; VARGAS, J. M.; 2006. Obtaining environmental favourability functions from logistic regression. *Environ. Ecol. Stat.* 13, 237–245.

SÁNCHEZ PALOMARES, O.; RUBIO, A.; BLANCO, A.; 2004. Definición y cartografía de las áreas potenciales fisiográfico-climáticas de hayedo en España. *Invest. agrar. Sist. recur. for.* Fuera de serie, 13-62.

SÁNCHEZ-PALOMARES, O.; SÁNCHEZ-SERRANO, F.; CARRETERO, M. P.; 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termopluviométricas para la España peninsular. INIA, col. Fuera de Serie, 192 pp., Madrid.

WOOD, S.N.; 2004. Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. *J. Amer. Statistical Assoc.* 99, 673-686.

WOODWARD, F.I.; 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press, 174 pp., Cambridge.