

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/325012858>

Cincuenta años de autoecología forestal paramétrica en España

Article · May 2018

CITATIONS

0

READS

285

6 authors, including:



[Eduardo Lopez-Senespleda](#)

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

53 PUBLICATIONS 216 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Ricardo Ruiz-Peinado](#)

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

96 PUBLICATIONS 1,902 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Rafael Alonso Ponce](#)

föra forest technologies

48 PUBLICATIONS 201 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Rafael Serrada](#)

Universidad Politécnica de Madrid

65 PUBLICATIONS 440 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



INTERREG IVB SUDOE SOE1/P2/E069 MICOSYLVA [View project](#)



PET2007-013-C07 Catalogación de plantaciones truferas en Teruel. Estudio de suelos y micorrización en relación con la producción de trufa negra [View project](#)

Cincuenta años de autoecología forestal paramétrica en España

Eduardo López-Senespleda^{1,2},
Gregorio Montero^{2,4},
Ricardo Ruiz-Peinado^{1,2},
Rafael Alonso Ponce³,
Rafael Serrada⁴,
Otilio Sánchez-Palomares⁴

¹ INIA-CIFOR. Departamento de Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales

² Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible IUGFS (UVa-INIA)

³ Föra forest technologies SLL

⁴ Sociedad Española de Ciencias Forestales SECF

Se presenta una revisión histórico-bibliográfica de los principales trabajos sobre autoecología forestal paramétrica publicados en España y se hace especial hincapié en los estudios realizados para las 20 principales especies forestales que viven en nuestro país (*Pinus canariensis*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *P. uncinata*, *Abies alba*, *Juniperus thurifera*, *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Quercus faginea*, *Q. ilex*, *Q. petraea*, *Q. pyrenaica*, *Q. robur*, *Q. suber*, *Prunus avium* y laurisilva canaria). El trabajo se estructura en partes, que tratan el origen de los primeros estudios y definición de conceptos básicos, enumeración y comentarios sobre los principales trabajos publicados sobre especies de coníferas y frondosas, otros trabajos sobre modelos de distribución de especies, consideraciones finales y bibliografía.

Palabras clave: Autoecología paramétrica; nicho ecológico; especies forestales

LOS ESTUDIOS DE AUTOECOLOGÍA DE ESPECIES FORESTALES EN ESPAÑA

Recientemente se han cumplido cincuenta años desde la publicación del primero de los trabajos de caracterización del hábitat y de análisis de la aptitud del territorio para las distintas especies forestales españolas. Dicho estudio, dedicado a *Pinus pinaster*, y firmado por Nicolás y Gandullo (1967), inició una fructífera serie de trabajos enmarcados en la línea de investigación (primero en el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, IFIE, y con posterioridad en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, INIA), de vocación eminentemente práctica, que vino a denominarse *autoecología paramétrica de las especies forestales españolas*.

Con motivo del mencionado aniversario, en este artículo se pretende detallar un resumen cronológico donde se distinguen los hitos más destacados alcanzados en dicha línea de investigación. Además, se han recopilado las publicaciones más representativas agrupadas por especies, las cuales pueden consultarse en las Tablas 1 y 2.

Empecemos por el concepto de *autoecología*. Son múltiples las definiciones que se pueden aportar, pero todas ellas coinciden en que es la ciencia que estudia las relaciones de las plantas o comunidades vegetales con el medio en el que habitan¹. Este concepto y el de *nicho ecológico* están fuertemente vinculados. La acepción de nicho que se aplicó en estos trabajos se aproxima al concepto que defendía

Hutchinson (1957) y proporciona una definición que incorpora conceptos de Grinnell (1917) y Elton (1927), siendo el nicho ecológico un hipervolumen n-dimensional, donde las dimensiones son condiciones ambientales y recursos que definen los requerimientos de un individuo o una especie para poder persistir. Así, un organismo libre de interacciones con otras especies podría usar el rango completo de condiciones (bióticas y abióticas) en las que podría vivir y reproducirse, estableciéndose así el *nicho fundamental*. Sin embargo, como resultado de las interacciones con otras especies -los fenómenos de competencia interespecífica- las especies se ven obligadas a ocupar el nicho en el que sean más competitivas, estableciéndose entonces el *nicho efectivo*, que es más estrecho que el fundamental. De esta forma, Hutchinson incorpora la importancia del hábitat en sí mismo, el papel que juega la especie en la comunidad y las limitaciones o competencias con otras especies en una definición que todavía perdura hoy en día.

De alguna manera podría decirse que el nicho es una especialización real del ecosistema, ocupándolo especies concretas de modo permanente o transitorio, o como define de forma más concreta Seoáñez (1995), el espacio funcional y topológico de un ecosistema.

El papel que juega la autoecología a partir del concepto de nicho es el de conformar la base de trabajo para los estudios de ecología de especies y de dinámica de poblaciones. Estos estudios de autoecología tratan de estimar la amplitud de los nichos y, al considerar los estudios de varias especies, los posibles solapes entre ellos. Estos conceptos, el de amplitud y el de solape del nicho son de gran importancia para entender cómo se distribuyen las especies y por qué. Las especies con gran amplitud de nicho son las menos especializadas, son aquellas capaces de vivir en multitud de ambientes y en general son más lentas a la hora de colonizar nuevos lugares. Por el contrario, aquellas muy especializadas suelen tener estrategias reproductivas que permiten su propagación rápidamente siendo consideradas especies colonizadoras (Dajoz, 2002).

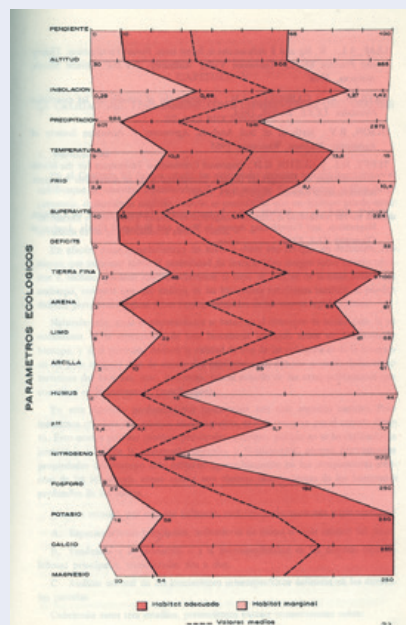
Así pues, dado que no todas las especies pueden habitar en todas las condiciones del medio y, donde sí pueden vivir, pueden presentar productividades muy dispares, este conjunto de estudios se inició con el objetivo de generar información que permitiera a los técnicos forestales el establecimiento de pautas de actuación silvícola o de reforestación en los montes poblados o a repoblar con las especies descritas. Dicho objetivo intentaba no sólo definir la posibilidad,

o no, de vida de una especie en una masa futura para un determinado sitio, sino saber también, de forma aproximada, cuál iba a ser la calidad previsible de la estación.

Todos los trabajos guardan en común la siguiente estructura: primero, la división de la distribución de la especie (en el momento del estudio) en regiones más o menos homogéneas (desde una perspectiva ecológica). A continuación se recorrían, muestreando un determinado número de parcelas por región, y en cada una de ellas se toman datos fisiográficos, edáficos y climáticos, así como datos selvícolas que permitieran asignar una calidad de estación para la masa existente. En tercer lugar se estudiaba cada región definida, cuantificando las propiedades edáficas, climáticas y fisiográficas y buscando las posibles relaciones entre estas variables y las calidades de las masas arbóreas radicadas en los diversos sitios muestreados.

PRIMEROS TRABAJOS: LAS PRINCIPALES CONÍFERAS

La serie de trabajos comenzó con los de las especies del género *Pinus* más importantes, en términos económicos: *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster*. En estos trabajos iniciales se abordaba el estudio de su autoecología desde un punto de vista meramente descriptivo.



El estudio de las propiedades edáficas, climáticas y fisiográficas es esencial para la caracterización ecológica de las diferentes especies forestales

Para el estudio de *Pinus pinaster* (Nicolás y Gandullo, 1967), se definió un nuevo coeficiente relacionado con la textura del suelo (CEL, Coeficiente de Evacuación Lenta del agua gravitacional). En el año 1969, con la publicación de la ecología de *Pinus sylvestris* (Nicolás y Gandullo, 1969), se realiza un tratamiento importante de los aspectos climáticos, introduciéndose una modificación del índice de Vernet que, junto a la precipitación anual, permitió el establecimiento de una zonificación aceptable para los hábitats de la especie. En este trabajo comenzó a utilizarse el término “hábitat marginal”.

En 1972, con la publicación de la ecología de *Pinus halepensis* (Gandullo et al., 1972), se introducen por primera vez técnicas de análisis multivariante: análisis de correlación y de componentes principales para el análisis de interdependencia de las variables y para estudiar las relaciones entre las distintas estaciones, para realizar una clasificación jerárquica de las estaciones. También se estudiaba la relación con la calidad de las masas mediante técnicas de regresión y de análisis discriminante.

Pocos años después, en 1974, se publica el estudio de *Pinus radiata*, donde se asientan con claridad y solidez las bases metodológicas para la elaboración y análisis de los parámetros ecológicos, con vistas a la con-

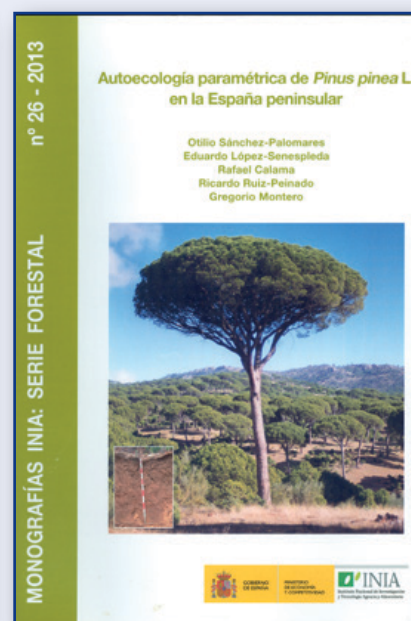
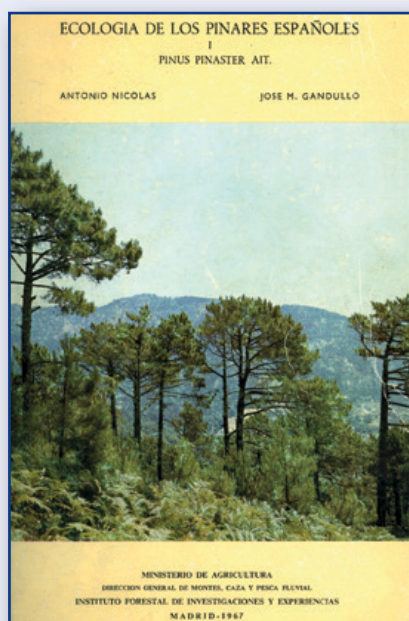
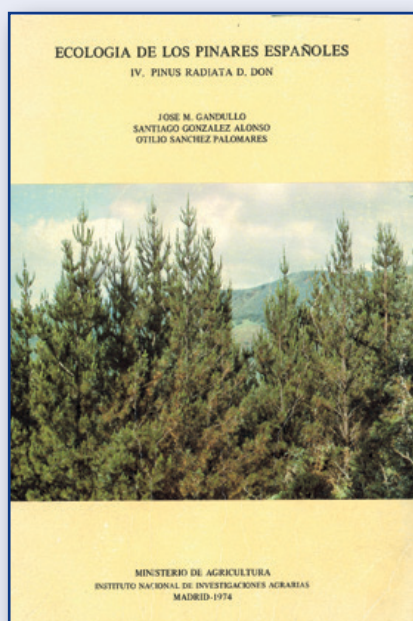
secución de los nuevos objetivos que se fijaron para este tipo de estudios (Gandullo et al., 1974). Éstos fueron: la definición paramétrica de los hábitats óptimos y marginales para la especie estudiada, el establecimiento de ecuaciones de pronóstico entre la calidad de estación y parámetros ambientales significativos, y el análisis del sotobosque con la determinación de las especies indicadoras de buena o mala calidad de las masas. Es también en esta publicación donde aparece por primera vez el diagrama en el que se representan los parámetros y su cuantificación, definiendo los rangos para el hábitat “adecuado” y “marginal”.

La siguiente especie, *Pinus nigra*, se publicó en tres trabajos en los años 1985, 1990 y 1991 (Elena et al., 1985; Sánchez Palomares et al., 1990; Elena y Sánchez Palomares, 1991). Para esta especie se realizó un estudio muy detallado en el que se incluyeron análisis discriminantes, análisis de clasificación (mediante el programa TWINS-PAN), análisis de correlación y análisis canónico de correspondencias.

En el año 1989 se publicaba el estudio ecológico del pino canario (Blanco et al., 1989). Debido a la importancia de la fisiografía en la distribución de la especie, se introdujeron unos nuevos parámetros que evaluaban el coeficiente de resguardo de los vientos, la rugosidad del entorno, el

sentido de los vientos húmedos del meso-entorno y el de los vientos húmedos del macroentorno. También se continuó, como en el trabajo de *Pinus radiata*, con un profundo estudio de la vegetación acompañante por la importancia que manifestaba.

La ecología de los pinares españoles se sintetizó en una monografía en la que se analizaron todos los parámetros para las especies anteriormente estudiadas (Gandullo y Sánchez Palomares, 1994), introduciendo así una primera metodología para la comparación de los hábitats de distintas especies. Se definía, también en este trabajo, el concepto de “valencia ecológica”. Pocos meses después se puso a disposición de los técnicos y los investigadores el programa “Pinares”. Esta herramienta, programada en Basic, ordenaba las distintas especies del género *Pinus* en función de su mayor o menor aptitud para vivir en una estación determinada. Fue en esta publicación cuando se definió por primera vez un índice de potencialidad que sintetizaba la información autoecológica y que podía ser cartografiado constituyendo así, por tanto, un modelo de distribución de especies. Así pues, hay que destacar que este modelo como tal aparece por primera vez en el año 1994 con la publicación de la monografía de los pinares, tan solo tres años después de que se publicara el modelo



“BIOCLIM” (Busby, 1991), de fundamentos teóricos análogos. Un resumen de las publicaciones más destacadas para las especies del grupo de las coníferas se puede ver en la Tabla 1.

CONTINUANDO CON LAS FRONDOSAS

Con anterioridad a 1994, fecha de publicación de la síntesis de la autoecología de los pinares españoles, ya se estaba trabajando con otras especies forestales, principalmente con las frondosas más importantes, tendencia que continúa hasta la actualidad (Tabla 2). A lo largo de esta etapa, los objetivos que demandaba la sociedad comenzaron a estar más encaminados hacia la conservación. Es más, recientemente estos objetivos se enfatizan al tratar de dar apoyo a las decisiones y estrategias de adaptación al cambio climático, de lucha contra especies exóticas invasoras, de gestión forestal sostenible, de conservación de especies amenazadas, e incluso la modelización de la aptitud del territorio para productos forestales no madereros. Como ejemplo de este último punto, recientemente se ha comprobado la utilidad de los estudios de distribución de especies en la determinación de áreas potenciales para hongos, en los trabajos para la

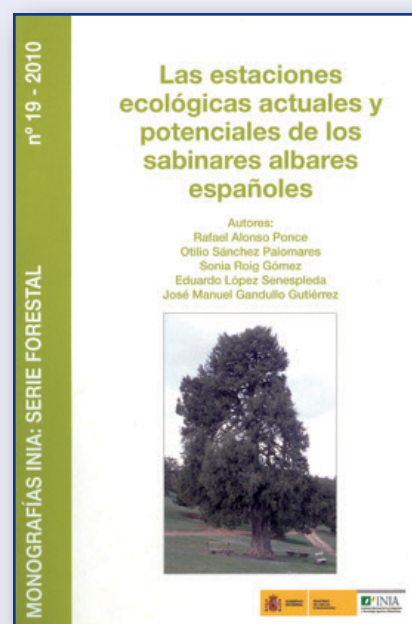
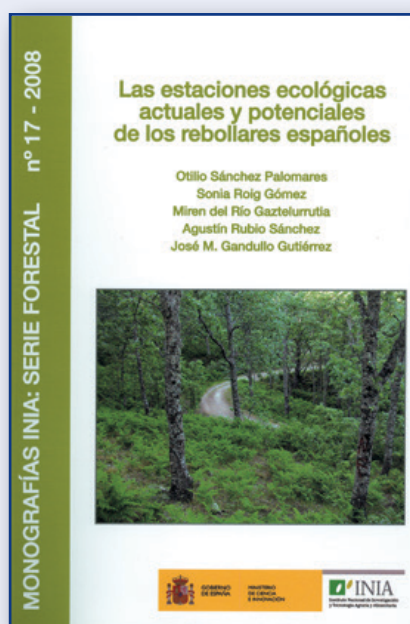
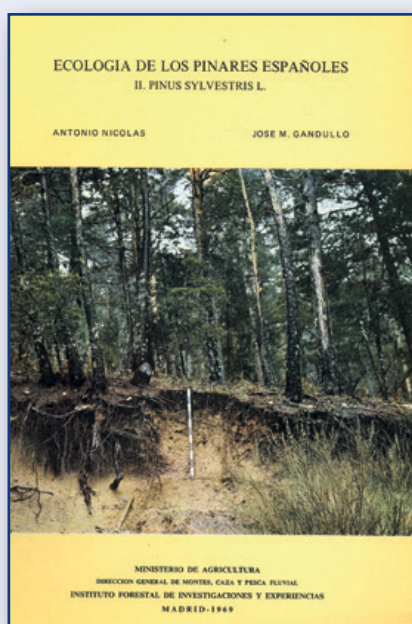
Tabla 1. Publicaciones sobre autoecología de las principales coníferas en España

Especie	Año	Autores ¹	Región	Tipo ²
<i>Pinus pinaster</i> Ait. (Pino resinero, negral, rodeno)	1967	Nicolas y Gandullo, 1967	P. Ibérica	L
<i>Pinus sylvestris</i> L. (Pino silvestre, pino albar)	1969	Nicolas y Gandullo, 1969	P. Ibérica	L
<i>Pinus halepensis</i> Mill. (Pino alepo, carrasco)	1972	Gandullo et al., 1972	P. Ibérica	L
<i>Pinus radiata</i> D. Don. (Pino insigne)	1974	Gandullo et al., 1974	P. Ibérica	L
	2009	Pérez Crespo et al., 2009	Castilla y León (O-NO)	C
<i>Pinus canariensis</i> Chr. Sm. ex DC (Pino canario)	1989	Blanco et al., 1989	Canarias	L
	1985	Elena et al., 1985	P. Ibérica	L
	1990	Sánchez Palomares et al., 1990	P. Ibérica	L
	1991	Elena y Sánchez Palomares, 1991	P. Ibérica	L
<i>Pinus nigra</i> Arn. (Pino laricio)	1991	Regato et al., 1991	P. Ibérica	A
	1994	Gandullo y Sánchez Palomares, 1994	P. Ibérica	L
Pinares españoles	1994	Gandullo y Sánchez Palomares, 1994	P. Ibérica	L
<i>Pinus uncinata</i> Mill. (Pino moro, negro)	2005	Rubio y Sánchez-Palomares, 2005	Norte de P.Ibérica	A
	2010	Mezquida et al., 2010	P. Ibérica	A
	2010	Sánchez-Palomares et al., 2010	P. Ibérica	I
<i>Juniperus thurifera</i> L. (Sabina, enebro)	2008	Alonso Ponce, 2008	Castilla y León (O-NO)	T
	2010	Alonso Ponce et al., 2010b		A
	2010	Alonso Ponce et al., 2010c	P. Ibérica	L
<i>Pinus pinea</i> L. (Pino piñonero)	2013	Sánchez-Palomares et al., 2013	P. Ibérica	L
<i>Abies alba</i> Mill. (Abeto, pinabete)	2013	López-Senespleda et al., 2013	P. Ibérica	I

¹ Las referencias pueden consultarse en el material adicional; ² C = Trabajo en congreso; T = Tesis; A = Artículo; L = Libro o monografía; I = Informe

trufa (Alonso Ponce et al., 2010a) y para *Boletus edulis* Bull. (Alonso Ponce et al., 2011). Esta línea se posiciona como una importante herramienta cara a la gestión de áreas que precisan de planes de desarrollo rural, per-

mitiendo definir estrategias para fijar una población estable en el medio. En estos dos últimos artículos, los autores incrementaron la firmeza de los modelos de potencialidad con el respaldo de la validación mediante la



aplicación de los trabajos de Boyce et al. (2002) y de Hirzel et al. (2006).

Las primeras frondosas que se abordaron fueron las que se integran en la laurisilva canaria (Bañares et

al., 1991), aprovechando los trabajos realizados con el pino canario. En este estudio se incluyeron parámetros microclimáticos (reducción de la luminosidad, reducción del déficit de

saturación, reducción de la temperatura del aire y del suelo, y reducción de la velocidad del viento) debido a las diferencias constatadas entre el exterior y el interior de la masa.

Tabla 2. Publicaciones sobre autoecología de frondosas y especies forestales no madereras en España

Especie	Año	Autores ¹	Región	Tipo ²
Laurisilva canaria	1991	Bañares et al., 1991	Islas Canarias	L
<i>Castanea sativa</i> Mill. (Castaño)	1993	Rubio, 1993	Extremadura (O)	T
	1997	Blanco et al., 1997	Navarra (N)	C
	1999	Rubio et al., 1999	Cataluña (NE)	A
	2000	Blanco et al., 2000	Galicia (NO)	A
	2002	Gómez et al., 2002	Andalucía (S)	A
	2002	Rubio et al., 2002	Castilla (C)	A
	2004	Gandullo et al., 2004a	P. Ibérica	L
<i>Fagus sylvatica</i> L. (Haya)	2001	Elena et al., 2001	Cataluña (NE)	A
	2003	Sánchez Palomares et al., 2003	Castilla y León (O-NO)	A
	2004	Sánchez Palomares et al., 2004	P. Ibérica	A
	2004	Gandullo et al., 2004b	P. Ibérica	L
	2006	Rubio y Sánchez Palomares, 2006	Navarra (N)	A
<i>Quercus suber</i> L. (Alcornoque)	1997	Sánchez Palomares y Carretero, 1997	Andalucía (S)	C
	2001	Sánchez Palomares et al., 2001	Extremadura (O)	C
	2004	Jovellar, 2004	Castilla y León (O-NO)	T
	2005	Sarmiento, 2005	Extremadura (O)	T
	2007	Sánchez Palomares et al., 2007a	P. Ibérica	L
<i>Quercus faginea</i> Lam. (Quejigo)	2006	López-Senespleda y Sánchez-Palomares, 2006	Guadalajara (C)	C
	2008	López-Senespleda y Sánchez Palomares, 2008	P. Ibérica	I
	2016	López-Senespleda, 2015	P. Ibérica	T
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd. (Rebollo, Melojo)	2005	Díaz Maroto et al., 2005a	Galicia (NO)	A
	2006	Sánchez Palomares et al., 2006	P. Ibérica	I
	2008	Ruiz-Peinado et al., 2008	La Rioja (N)	C
	2008	Sánchez Palomares et al., 2008	P. Ibérica	L
<i>Quercus ilex</i> L. (Encina)	2007	Sánchez Palomares et al. 2007b	Centro de P. Ibérica	I
	2009	Sánchez Palomares et al. 2009	P. Ibérica	I
	2012	Sánchez-Palomares et al., 2012	P. Ibérica	L
<i>Quercus robur</i> L. (Roble)	2005	Díaz Maroto et al., 2005b	Galicia (NO)	A
	2013	López-Senespleda et al., 2013	P. Ibérica	I
<i>Quercus petraea</i> Matt. (Liebl.) (Roble)	2006	Díaz-Maroto et al., 2006	Galicia (NO)	A
	2013	López-Senespleda et al., 2013	P. Ibérica	I
<i>Prunus avium</i> L. (Cerezo)	2001	Cisneros y Sánchez Palomares, 2001	Castilla y León (O-NO)	C
	2004	Cisneros, 2004	Castilla y León (O-NO)	T
<i>Cytisus oromediterraneus</i> Rivas Mart. & al. (Piorno)	2009	Ropero et al., 2009	Sistema Central (C)	C
<i>Tuber melanosporum</i> Vittad. (Trufa negra)	2010	Alonso Ponce et al., 2010a	Aragón (Teruel)	A
<i>Boletus edulis</i> Bull. (Boleto)	2011	Alonso Ponce et al., 2011	P. Ibérica	A

¹ Las referencias pueden consultarse en el material adicional; ²C = Trabajo en Congreso; T = Tesis; A = Artículo; L = Libro o monografía; I = Informe

Pronto comenzaron los trabajos sobre *Castanea sativa*, *Fagus sylvatica*, *Quercus suber* y *Quercus pyrenaica*. Algunos de ellos se realizaron primero desarrollando estudios de ámbito regional que luego se agruparon y completaron cubriendo toda el área de distribución de las especies tratadas (Tabla 2). Los primeros trabajos para las especies de frondosas no llegaron a la profundidad analítica de trabajos como el de *Pinus nigra*. Sin embargo se empezaron a introducir nuevas aportaciones a la metodología, como el análisis individual de los parámetros con una clasificación de las regiones muestreadas en conjuntos significativamente distintos a partir del análisis de la distancia de Mahalanobis.

Fue en el estudio de los hayedos (Sánchez-Palomares et al., 2004) cuando se definieron explícitamente por primera vez las áreas potenciales de expansión de la especie, aportando cartografía y una cuantificación de las mismas gracias a los SIG. Estas áreas potenciales de expansión se pueden englobar en lo que se conoce como modelos de distribución de especies (que son la proyección sobre el espacio geográfico de los modelos de nicho que se definen en el espacio ecológico). A partir de este trabajo se añadía un nuevo objetivo a los ya descritos (definición paramétrica de los hábitats y predicción de la calidad de estación a partir de parámetros del medio): la identificación y cartografía de las áreas potenciales fisiográfico-climáticas de expansión de las especies forestales.

Las siguientes especies fueron *Prunus avium* (Cisneros, 2004) y *Juniperus thurifera* (Alonso Ponce, 2008) que se abordaron inicialmente como estudios de ámbito regional. Estas dos especies también aportaron novedades a la línea de investigación. Por ejemplo, en el caso del cerezo se realizaron análisis de componentes principales, análisis de coordenadas principales y escalamiento multidimensional; y en el caso de la sabina se realizaron análisis factoriales. En ambos trabajos, para el estudio de las relaciones entre parámetros del medio y la calidad de estación, fue necesario el ajuste de los modelos de crecimientos para definir las clases de

calidad. Para ello se empleó la metodología de ecuaciones en diferencias algebraicas (ADA por sus siglas en inglés) en el caso del cerezo y la metodología de las ecuaciones en diferencias algebraicas generalizadas (GADA por sus siglas en inglés) en el caso de la sabina.

En el trabajo sobre la sabina (Alonso Ponce, 2008) se define un nuevo índice de potencialidad distinto del definido por Gandullo y Sánchez-Palomares (1994), principalmente porque permite considerar los posibles fenómenos de compensación entre parámetros, que posibilitan que la especie viva holgadamente en zonas que, mediante otro enfoque, se correspondería con la marginalidad.

A continuación se publicaron los trabajos sobre *Quercus ilex* (Sánchez Palomares et al., 2012) y *Pinus pinea* (Sánchez Palomares et al., 2013). En el caso de la encina se realizó una comparativa de todas las especies estudiadas, asignando una mayor eurioicidad o estenoicidad a cada especie utilizando como especie patrón para la comparación a la propia encina. Un trabajo similar se realizó en la publicación del pino piñonero.

Antes de la publicación de esos dos últimos trabajos, en el año 2010 se llevaron a cabo los trabajos para completar el género *Pinus* con la especie que quedaba por muestrear, *Pinus uncinata*. Un año después comenzaron los trabajos de muestreo de *Quercus robur*, *Quercus petraea* y *Abies alba*. Así, en el mismo proyecto que financiaba los trabajos de estas últimas tres especies se contemplaba también la realización de muestreos complementarios para las especies originales del género *Pinus*, con la intención de actualizar y completar los datos originales utilizando localizaciones a partir de los mapas forestales actualizados.

La última de las especies que ha visto luz recientemente (López-Senespleda, 2015), en forma de tesis doctoral, es el quejigo (*Quercus faginea*). En este trabajo, además de seguir el formato habitual de determinación y caracterización de las áreas potenciales, se incluyó la validación mediante la curva de Boyce-Hirzel modificada para obtener mayor robustez de los

resultados y un modelo de calidad de estación en relación con parámetros del hábitat (López-Senespleda et al., 2014).

Finalmente, se está terminando la síntesis general de todas las especies estudiadas hasta la fecha, lo que conlleva la actualización y homogeneización de datos climáticos, la identificación y localización de las parcelas originales, la incorporación de nuevas parcelas a los primeros estudios, etc. En este resumen final se plantea el estudio de la comparativa de los hábitats de las especies de forma conjunta mediante la comparación de los nichos a través de modelos de distribución de especies (Warren et al., 2008; 2010), aplicando técnicas de “smoothkernel” (Broennimann et al., 2012) y mediante técnicas de medida de la precisión de la predicción o “fitness” (Townsend y Vieglais, 2001). Con ello se pretende obtener unos resultados robustos, que permitan realizar una comparación entre especies óptima, dotando de datos incuestionables a los gestores forestales.

OTROS TRABAJOS: LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

No obstante, además de todos los trabajos citados que se encuadran dentro de una misma línea de investigación, existen muchos otros para diferentes especies forestales en la Península Ibérica. Éstos aplican distintas metodologías y multitud de aproximaciones, pero que en el fondo también tratan de la autoecología de especies, aunque se centran más en modelos de distribución de especies.

Estos trabajos, en general, aplican multitud de técnicas estadísticas pero lo que guardan en común, en general, es el uso de datos de presencias y de ausencias. Este criterio establece la primera división entre la mayor parte de estos métodos y los aplicados en esta línea de investigación.

Dentro de las técnicas estadísticas empleadas, siguiendo a Mateo et al. (2011), se podrían agrupar en Técnicas discriminantes (CART, MARS, GLM, Redes Neuronales, Análisis de Componentes Principales, GAM, MaxEnt), Técnicas descriptivas (BIOCLIM, DOMAIN, ENFA), o Técnicas

Tabla 3. Listado de publicaciones sobre autoecología y modelos de distribución de especies vegetales españolas con distintas metodologías

Especies objetivo	Año	Autores	Región	Tipo	Metodología empleada
<i>Quercus pyrenaica</i> Willd. y <i>Fagus sylvatica</i> L.	2010	Mateo et al., 2010		A	MARS
<i>Quercus suber</i> L. y <i>Q. ilex</i> L.	2003	Benito Garzón et al., 2003	Península	A	Redes Neuronales
<i>Fagus sylvatica</i> L.	2004	Muñoz y Felicísimo, 2004	NO Península	A	CART, Regresión logística, MARS y Análisis de Árboles de Regresión
<i>Pinus sylvestris</i> L.	2006	Benito et al., 2006	Península	A	Random Forest, CART y Redes Neuronales
Especies forestales	2008	Benito et al., 2008	Península	A	Random Forest
Variasespecies	2009	Gastón et al., 2009	Península	A	Regresión Logística
<i>Abies alba</i> Mill.	2009	Alba-Sánchez et al., 2009	N Península	A	MaxEnt
Varias especies	2009	Benito de Pando, 2009	S Península	T	MaxEnt y otros
<i>Abies</i> sp.	2010	Alba-Sánchez et al., 2010	Península	A	Envolventes Ambientales
Matorral y especies herbáceas	2011	Bedia et al., 2011	N Península	A	MLR, Redes Neuronales, SVMs, CART, MaxEnt y MARS
<i>Abies alba</i> Mill. y <i>Fagus sylvatica</i> L.	2012	Serra-Díaz et al., 2012	Península	A	GLM
34 especies forestales	2013	García del Barrio et al., 2013	Península	A	MaxEnt
5 especies del género <i>Pinus</i>	2012	Guzmán et al., 2012	Andalucía	L	Autoecología paramétrica + MaxEnt
	2013	Guzmán et al., 2013		A	
<i>Pinus sylvestris</i> L. y <i>Fagus sylvatica</i> L.	2014	Hernández et al., 2014	O Pirineos	A	Universal kriging + SDMs
Expansión de áreas forestales	2014	Álvarez-Martínez et al., 2014	NO Península	A	MaxEnt y BIOMOD
6 frondosas forestales	2015	Roces-Díaz et al., 2015	Asturias	A	GLM (Regresión logística)

¹ Las referencias pueden consultarse en el material adicional; ²A = Artículo; L = Libro o monografía; CL = Capítulo de libro; T = Tesis

mixtas que emplean varias reglas, algunas descriptivas y otras discriminantes (GARP, BIOMOD). Algunos ejemplos se pueden ver en la tabla 3.

CONSIDERACIONES FINALES

El Cambio Global nos conduce a una nueva coyuntura ecológica que conlleva multitud de alteraciones en las masas forestales. Estas implicarán, necesariamente, variaciones en los rendimientos que la sociedad obtiene de las mismas, en todas sus dimensiones (social, ecológica y económica). Esto requiere respuestas coordinadas a escala nacional y supranacional, aunque las acciones inmediatas deben ser planificadas y ejecutadas a escala local (Benito de Pando, 2009).

Para ello, la información que nos proporciona la autoecología de especies forestales sobre el hábitat en el que viven, y el uso de herramientas derivadas como los modelos de potencialidad de expansión y de distribución de especies, pueden facilitar-

nos el desarrollo de esquemas que nos ayuden a entender las relaciones entre los factores implicados y abrirnos la posibilidad de diseñar e implementar soluciones.

La perspectiva del hábitat que aportan los estudios de autoecología y los modelos de distribución de especies permiten concebir la posible evolución de las formaciones a lo largo de la historia, así como ayudar a entender también las relaciones de competencia o facilitación entre especies forestales. A ello se suma también el auge que han experimentado los estudios de distribución de especies, afrontados desde multitud de enfoques, gracias al interés que despertaron trabajos sobre adaptabilidad al cambio climático (Felicísimo, 2011), vulnerabilidad de ecosistemas y a trabajos con especies invasoras. Es conveniente puntualizar que, en esencia, la base de todos estos modelos de distribución es la autoecología de las especies (Guisan y Thuiller, 2005; Miller y Rogan, 2007).

Así, la descripción y cuantificación de los parámetros que definen el hábitat, en definitiva, la definición de los gradientes ambientales, permite la modelización de los fenómenos de expansión mediante la identificación de espacios potencialmente susceptibles de ser colonizados, la determinación de la aptitud del territorio, la cuantificación de la variación de la idoneidad del hábitat o la explicación del estado actual de masas forestales (Serrada et al., 2009), entre otros aspectos.

Las áreas potenciales, además, constituyen una útil herramienta adicional a la hora de planificar la gestión del territorio, clasificándolo según su aptitud para albergar la especie y orientando sobre las posibles actuaciones a llevar a cabo dentro del contexto de la gestión adaptativa al cambio climático (Schwartz, 2012) más que para afirmar la futura desaparición de los hábitats de las especies (Felicísimo, 2011). Todo ello pese a las limitaciones que impone la incer-

tidumbre introducida por el uso del nicho efectivo en el cálculo a la hora de realizar predicciones de futuras distribuciones (Beale y Lennon, 2012). En cualquier caso, lo que se proponían con esta línea de investigación era caracterizar el territorio en función de su aptitud para albergar la especie, aunque es posible hacer simulaciones

de la variación de dichas áreas en el futuro utilizando para ello los datos

de los distintos escenarios de cambio climático.

¹ Respecto a la autoecología, Margalef (1974) comenta que la información que se obtiene desde este enfoque no carece de valor ni importancia: "La descomposición del ambiente, a los fines de estudio, en factores de acción es más o menos arbitraria, pues la distribución y actividades de los organismos son función de combinaciones de factores, diversamente integrados según las circunstancias; pero esto no es razón para menospreciar la información que se va acumulando sobre la relación entre la intensidad de factores seleccionados y la presencia y actividades de los organismos".

REFERENCIAS

Se incluyen a continuación las referencias citadas en el texto. Las referencias recogidas en las tablas pueden consultarse en el material adicional disponible en la página web de la revista (<http://www.forestaes.net>), junto a este artículo.

- Alonso Ponce R. 2008. *Autoecología paramétrica de Juniperus thurifera L. en Castilla y León*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Alonso Ponce R, Águeda B, Ágreda T et al. 2011. Rockroses and *Boletus edulis* ectomycorrhizal association: realized niche and climatic suitability in Spain. *Fungal Ecol.* 4(3): 224-232.
- Alonso Ponce R, Águeda B, Ágreda T et al. 2010a. Un modelo de potencialidad climática para la trufa negra (*Tubermelanosporum*) en Teruel (España). *Forest Syst.* 19 (2): 208-220.
- Bañares A, Blanco A, Castroviejo M et al. 1991. *Estudio ecológico de la laurisilva canaria*. Colección Técnica. MAPA-ICONA, Madrid.
- Beale CM, Lennon JJ. 2012. Incorporating uncertainty in predictive species distribution modelling. *Phil. Trans. R. Soc. B* 367: 247-258.
- Benito de Pando BM. 2009. *Ecoinformática aplicada a la conservación y simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Blanco A, Castroviejo M, Fraile JL et al. 1989. *Estudio ecológico del pino canario*. ICONA-MAPA, Madrid.
- Boyce MS, Vernier PR, Nielsen SE et al. 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling* 157: 281-300.
- Broennimann O, Fitzpatrick MC, Pearman PB et al. 2012. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecol. Biogeogr.* 21: 481-497.
- Busby JR. 1991. BIOCLIM – A bioclimate analysis and prediction system. En: Margules CR, Austin MP (eds.). *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*, pp. 64-68. CSIRO, Melbourne.
- Cisneros O. 2004. *Autoecología del cerezo de monte (Prunus avium L.) en Castilla y León*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Dajoz R. 2002. *Tratado de ecología*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Elena R, Sánchez Palomares O, Carretero P. 1985. *Estudio fisiográfico y climático de los pinares autóctonos españoles de Pinus nigra Arn.* MAPA, Madrid.
- Elena R, Sánchez Palomares O. 1991. *Los pinares españoles de Pinus nigra Arn.: Síntesis ecológica*. MAPA, Madrid.
- Elton CS. 1927. *Animal ecology*. Sidgwick y Jackson, Londres.
- Felicísimo AM. 2011 (ed). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Gandullo JM, González S, Sánchez O. 1974. *Ecología de los pinares españoles IV. Pinus radiata D. Don*. INIA, Madrid.
- Gandullo JM, Nicolás A, Moro J et al. 1972. *Ecología de los pinares españoles III. Pinus halepensis Mill.* IFIE, Madrid.
- Gandullo JM, Sánchez Palomares O. 1994. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. MAPA - ICONA, Madrid.
- Grinnell J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk* 34: 427-433.
- Guisan A, Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Hirzel A, Le Lay G, Helfer V et al. 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling* 199: 142-152.
- Hutchinson GE. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22(2): 415-427.
- López-Senespleda E. 2015. *Autoecología paramétrica de los quejigares españoles*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, Palencia.
- López-Senespleda E, Bravo-Oviedo A, Alonso Ponce R et al. 2014. Resource communication. Modeling dominant height growth including site attributes in the GADA approach for *Quercus faginea* Lam. in Spain. *Forest Systems* 23(3): 494-499.
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Omega, Barcelona.
- Mateo RG, Felicísimo AM, Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 217-240.
- Miller JA, Rogan J. 2007. Using GIS and remote sensing for ecological mapping and monitoring. En: Mesev V. (ed.). *Integration of GIS and remote sensing*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Nicolás A, Gandullo JM. 1967. *Ecología de los pinares españoles I. Pinus pinaster Ait.* IFIE, Madrid.
- Nicolás A, Gandullo JM. 1969. *Ecología de los pinares españoles II. Pinus sylvestris L.* IFIE, Madrid.
- Sánchez Palomares O, Elena R, Carretero P. 1990. *Caracterización edáfica de los pinares autóctonos españoles de Pinus nigra Arn.* MAPA, Madrid.
- 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 1: 13-62.
- Sánchez-Palomares O, López-Senespleda E, Calama R et al. 2013. *Autoecología paramétrica de Pinus pinea L. en la España peninsular*. Monografías Serie Forestal 26, INIA, Madrid.
- Sánchez-Palomares O, López-Senespleda E, Roig S et al. 2012. *Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los encinares españoles*. Monografías Serie Forestal 23, INIA, Madrid.
- Schwartz MW. 2012. Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions. *Biol. Conserv.* 155: 149-156.
- Seoáñez M. 1995. *El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación*. Mundi-Prensa, Madrid.
- Serrada R, Gómez V, Serrada M. 2009. Estudio edafológico del Monte "La Camorza", Manzanares el Real (Madrid). *5º Congreso Forestal Español*, Ávila.
- Townsend A, Vieglais D. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience* 51(5): 363-371.
- Warren DL, Glor RE, Turelli M. 2008. Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *Evolution* 62: 2868-2883.
- Warren DL, Glor RE, Turelli M. 2010. ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography* 33: 607-611.