



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-033

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Dinámica fitoclimática forestal en la alta montaña mediterránea transicional de la península ibérica. Fisionomías e Idoneidades

ALLUÉ CAMACHO, C.¹, GARCÍA LÓPEZ, J.M.²

¹ Laboratorio Regional de Calidad Ambiental (Burgos). Junta de Castilla y León. allcamca@jcyl.es

² Servicio Territorial de Medio Ambiente (Burgos). Junta de Castilla y León. garlopjv@jcyl.es

Resumen

Se analizan los efectos de la dinámica fitoclimática sobre la adecuación e idoneidad fitoclimática actual y futura de las cubiertas arbóreas dominantes de la alta montaña mediterránea a través de la estación termoplumiométrica “Puerto de Navacerrada” con 70 años de observación disponibles (1946-2015). En el piso oromediterráneo es representativa de formaciones naturales casi exclusivas por *Pinus sylvestris*. La aplicación de modelos fitoclimáticos a la evolución de las medias móviles de 12 factores fitoclimáticos revela cambios en los índices de adecuación de la estación a 22 subtipos fisionómicos y a 18 formaciones forestales. El aumento de temperaturas, especialmente de las máximas, está provocando un efecto estepizante en la estación. La fisionomía dominante seguirá siendo oroborealoide y por tanto compatible con formaciones exclusivas de *Pinus sylvestris*, pero con tendencia al cambio desde posiciones subnemorales a subestépicas, con un paulatino acercamiento a subtipos nemoromediterráneos y hacia formaciones marcescentes y aciculiperennifolias que en otros lugares tienen claras implicaciones estépicas como *Juniperus thurifera*, *Pinus nigra*, *Quercus faginea* y *Quercus pyrenaica*. El incremento de la versatilidad fitoclimática de la estación sugiere baja vulnerabilidad, aunque augura cambios en la composición, fisionomía y relaciones de competencia interespecífica lo que obligará a replantear planificaciones y actuaciones de gestión adaptativa.

Palabras clave:

Fitoclimatología, cambio climático, adecuación, versatilidad, diversidad potencial, vulnerabilidad, gestión adaptativa

1. Introducción

A pesar de poder presentar notables grados de resiliencia, los bosques son particularmente sensibles a los efectos del cambio climático debido, entre otras causas, a que los largos ciclos de vida de las especies arbóreas, no son en principio favorables a rápidas tasas de adaptación a los cambios ambientales (DAVIS *et al.*, 2005; KREMER, 2007). El desarrollo de modelos que permitan evaluar y predecir posibles cambios que se hayan producido o puedan producirse en el futuro en los ecosistemas forestales como consecuencia de la variación en la capacidad de acogida del medio es uno de los principales retos en la actualidad (CONDIT *et al.*, 2005, GUIBAN & THUILLER, 2005).

Los ecosistemas forestales mediterráneos presentan una alta vulnerabilidad al cambio climático (LINDNER *et al.*, 2010; GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2012) y es especialmente destacable la complejidad y heterogeneidad de la respuesta al cambio climático de los medios forestales de alta montaña cercanos al límite altitudinal del arbolado (MALANSON, 2001), en particular de aquellos medios transicionales en los cuales las especies principales que forman el dosel arbóreo se encuentran cerca de sus límites climáticos de existencia.

2. Objetivos

El presente trabajo pretende evaluar posibles cambios que desde el punto de vista fitoclimático se hayan podido producir en las últimas décadas en medios forestales de alta montaña mediterránea transicional hacia la alta montaña eurosiberiana en la Península Ibérica, a través de la aplicación de modelos fitoclimáticos al caso concreto de un ecosistema forestal de alta montaña cercano al límite del arbolado en el Sistema Central (Puerto de Navacerrada).

Si trazamos una línea imaginaria que recorra de norte a sur la Península Ibérica, la Sierra de Guadarrama es la primera cordillera en la que en alta montaña existe un grado perceptible de aridez estival. La alta montaña guadarrámica, con su situación intermedia entre la alta montaña eurosiberiana desprovista de aridez (e.g. Pirineos, Picos de Europa) y la alta montaña mediterránea con aridez estival importante (e.g. Sierra Nevada) participa de elementos florísticos de ambas regiones fitogeográficas. Es por ello que el Guadarrama representa un refugio para especies de distribución norteña que ya no son compatibles con las condiciones de aridez reinantes más al sur como *Androsace vitaliana* subsp. *assoana*, *Phyteuma spicatum* o *Pedicularis schizocalix* entre otros, lo que incrementa su vulnerabilidad (GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ, 2017).

Se espera así poder evaluar los efectos esperables en su cubierta forestal, las repercusiones en la dinámica vegetal y biodiversidad potencial, así como la situación actual de vulnerabilidad y posibles alternativas de gestión adaptativa.

3. Metodología

Los modelos fitoclimáticos utilizados han sido por una parte los originales de ALLUÉ-ANDRADE (1990 y 1997), que proporcionan la adecuación de la estación a un conjunto de 22 subtipos fitoclimáticos previamente establecidos (Figura 1) que se corresponden con grandes fisionomías o estrategias de vida de cubiertas vegetales dominantes, que denominaremos aquí “Modelo Subtipos” y por otro el modelo CLIMPAIR (GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2011), que proporciona la adecuación de la estación a un conjunto de 18 especies arbóreas con capacidad de formar cubiertas forestales dominantes, mejorando la eficiencia predictiva del sistema original mediante la incorporación de envolventes convexas (GARCÍA-LÓPEZ y ALLUÉ, 2003) como método alternativo al de paralelepípedos factoriales utilizado por los modelos originales, que aquí denominaremos “Modelo Especies”. La componente dinámica temporal se introdujo en los modelos a través del cálculo de los valores de 12 variables fitoclimáticas (Tabla 1) en medias móviles de 30 años de amplitud.

La versatilidad fitoclimática de la estación se calculó conforme a la metodología de GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ (2011) derivada del índice de diversidad de SHANNON (1948) aplicado al conjunto de índices de idoneidad positivos por especies. Este indicador de entropía funciona como un evaluador de diversidad (JOST, 2006), considerando de forma conjunta sus 2 componentes básicos: riqueza y proporcionalidad. La entropía así calculada es un estimador de la diversidad fitoclimática, es decir de la versatilidad fitoclimática de la estación. Una estación con alta entropía fitoclimática presentará un comportamiento futuro versátil, caracterizado por un amplio catálogo de probabilidades de adaptación al cambio climático, por lo que la versatilidad fitoclimática puede ser utilizada como índice de la capacidad de adaptación del ecosistema forestal al cambio climático y su inversa como indicador de vulnerabilidad.

Se ha utilizado la serie de los datos termopluviométricos de la estación de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) nº 2462 “Puerto de Navacerrada”, que cuenta con 70 años de observación (1946-2015), está situada a 1890 m de altitud, en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central) en la provincia de Madrid, limítrofe con la provincia de Segovia, y cuya vegetación natural se corresponde con formaciones de altura de *Pinus sylvestris* con sotobosque de *Cytisus oromediterraneus*.

Se incluyen los factores fitoclimáticos utilizados y su forma de cálculo (Tabla 1) y la clave numérica cualitativa del “Modelo Subtipos” así como la significación fitológica de cada uno de ellos (Figura 1).

Tabla 1: Factores fitoclimáticos

ABREVIATURA	FACTOR	UNIDAD
K	Intensidad de la aridez. Se calcula como el cociente As/Ah , siendo Ah el área húmeda del climodiagrama (curva de P_i por encima de T_i , es decir, $2T_i < P_i$) y As el área seca (curva P_i por debajo de la T_i , es decir, $2T_i > P_i$). Por razones de escala se hace la transformación a $10 \cdot \log(K+1)$.	
A	Duración de la aridez en el sentido de GAUSSEN, es decir, nº de meses en que la curva de T_i se sitúa por encima de la de P_i , es decir, en los que $2T_i > P_i$	meses
P	Precipitación anual total	mm
PE	Precipitación estival mínima (Junio, Julio, Agosto o Septiembre)	mm
T	Temperatura media anual	°C
TMF	Temperatura media mensual más baja	°C
TMC	Temperatura media mensual más alta	°C
TMMF	Temperatura media de las mínimas del mes con T más baja	°C
TMMC	Temperatura media de las máximas del mes con T más alta	°C
HS	Helada segura. Calculada como nº de meses en los que $T_i \leq 4^\circ\text{C}$	meses
PV	Periodo de actividad vegetal libre. Nº de meses en los que $T_i \leq 7,5^\circ\text{C}$ excluidos los periodos con $A > 0$	meses
OSC	Oscilación térmica. Calculada como $TMC - TMF$	°C

En el “Modelo Subtipos” la adecuación de la estación a un subtipo fitoclimático se expresa a través del correspondiente escalar de adecuación que como máximo puede ser 1, seguido de una letra que indica en cada caso si el punto es Genuino (G) por ser interior al ámbito factorial de existencia del subtipo definido por un paralelepípedo en el hiperespacio factorial de 12 dimensiones, si es Análogo (A) por ser exterior pero muy cercano al ámbito o si por el contrario es Dispar (D) por ser exterior y más alejado del ámbito al menos en relación con algún factor, pudiendo ser dispar cercano en función de dicha distancia.

CLAVE CUALITATIVA				ADSCRIPCIÓN		FORMACIONES ZONALES MÁS FRECUENTES		
TMMF > 7	A <= 11			III(IV)	Sahariano	Espinales de azufaifo y cornicales		
		3 <= A < 11	TMMF > 0	TMC <= 9,5	P <= 450	IV(III)	Mediterráneos	Subsahariano
				P > 450	IV2	Genuinos		Acebuchales
	TMC < 9,5		P <= 400	IV1	Coscojares			
			P > 400	IV3	Encinares secos			
	TMMF <= 0	TMF <= 2		IV(VII)	Subestepario	Piornales espinosos almohadillados		
		TMF > 2		IV(VI)1		Subemorales	Encinares húmedos con quejigo o rebollo	
	1,25 <= A < 3	TMMF >= 7,5	P <= 850		IV(VI)2		Subnemorales	Alsinares secos
			P > 850		VI(IV)3	Robledales pedunculados secos		
		TMF < 7,5	HS < 5	P <= 725	VI(IV)1	Genuinos	Quejigares y melojares secos con encina	
				P > 725	VI(IV)2		Quejigares y melojares húmedos con encina	
	HS >= 5		VIII(VII)		Oroborea-loide	Subestepario	Pinares de silvestre o laricio	
	0 <= A < 1,25	P <= 950	TMMF > 0		VI(IV)4	Nemoromediterráneo	Submediterráneo	Alsinares húmedos
			TMMF <= 0	T >= 7,5		VI(VII)	Nemoral	Subestepario
		T < 7,5		VIII(VI)1	Oroborea-loide	Subnemoral seco	Pinares de silvestre o laricio	
P > 950		TMF > 4		VI(V)	Nemoral	Genuinos	Robledales pedunculados	
		TMF <= 4	HS < 5	VI			Hayedos y robledales albares	
HS >= 5			VIII(VI)2		Oroborea-loide	Subnemoral húmedo	Pinares de silvestre con frondosa	
TMMF < 7	A = 0	TMC > 10		X(VIII)	Oroarti-coides	Termoaxérico	Pinares de silvestre o pino moro	
		TMC <= 10		X(IX)1			Pastos alpinos	
	A > 0				X(IX)2	Termoxérico	Pastos alpinoideos	

Figura 1: Clave numérica cualitativa y significación fitológica de los subtipos fitoclimáticos (ALLUE-ANDRADE, 1990 modificado)

4. Resultados

4.1. Dinámica factorial

La evolución temporal de las temperaturas las (Tabla 2 y Figuras 2 y 3) muestran una clara tendencia al alza, más acusada en las temperaturas máximas que en las mínimas.

Tabla 2: Valores de las medias móviles de los 12 factores fitoclimáticos del sistema

Período	K	A	P	PE	T	TMF	TMC	TMMF	TMMC	HS	PV	OSC
1946 - 1975	0,07	1,23	1368	22	6,10	-1,00	16,20	-3,70	21,40	5,60	3,50	17,20
1947 - 1976	0,04	1,15	1395	24	6,00	-1,00	16,10	-3,80	21,20	5,70	3,50	17,10
1948 - 1977	0,03	1,10	1420	27	5,90	-1,00	15,80	-3,80	20,90	5,70	3,60	16,80
1949 - 1978	0,03	1,10	1441	27	5,90	-1,10	15,80	-3,90	20,90	5,80	3,60	16,90
1950 - 1979	0,03	1,12	1466	27	5,90	-1,30	15,80	-3,90	20,80	5,80	3,60	17,10
1951 - 1980	0,03	1,13	1476	26	5,80	-1,30	15,70	-3,90	20,60	5,80	3,50	17,00
1952 - 1981	0,03	1,12	1457	26	5,90	-1,20	15,60	-3,80	20,60	5,80	3,60	16,80
1953 - 1982	0,05	1,19	1443	24	5,90	-1,10	15,70	-3,80	20,60	5,80	3,50	16,80
1954 - 1983	0,04	1,16	1431	24	5,90	-1,20	15,70	-3,70	20,60	5,80	3,50	16,90
1955 - 1984	0,04	1,16	1447	23	5,90	-1,10	15,70	-3,70	20,50	5,80	3,40	16,80

1956 - 1985	0,05	1,18	1430	23	5,90	-1,00	15,70	-3,60	20,60	5,80	3,40	16,70
1957 - 1986	0,05	1,19	1427	23	5,90	-0,90	15,80	-3,40	20,70	5,80	3,40	16,70
1958 - 1987	0,04	1,16	1441	26	6,00	-0,90	15,80	-3,40	20,70	5,80	3,40	16,70
1959 - 1988	0,04	1,15	1439	27	6,00	-1,00	15,90	-3,50	20,70	5,80	3,50	16,90
1960 - 1989	0,05	1,20	1438	24	6,00	-1,00	15,90	-3,50	20,70	5,80	3,50	16,90
1961 - 1990	0,05	1,19	1413	24	6,10	-0,80	16,00	-3,40	20,80	5,80	3,50	16,80
1962 - 1991	0,05	1,20	1394	24	6,10	-1,10	16,10	-3,60	20,90	5,80	3,50	17,20
1963 - 1992	0,05	1,18	1377	25	6,10	-0,90	16,10	-3,40	20,90	5,80	3,50	17,00
1964 - 1993	0,05	1,19	1356	25	6,10	-0,80	16,10	-3,30	21,00	5,80	3,40	16,90
1965 - 1994	0,04	1,19	1343	25	6,20	-0,80	16,20	-3,40	21,10	5,80	3,40	17,00
1966 - 1995	0,04	1,20	1319	26	6,20	-0,70	16,30	-3,20	21,20	5,70	3,40	17,00
1967 - 1996	0,04	1,20	1324	26	6,20	-0,80	16,30	-3,30	21,20	5,70	3,40	17,10
1968 - 1997	0,03	1,15	1342	26	6,30	-0,60	16,20	-3,20	21,10	5,70	3,60	16,80
1969 - 1998	0,03	1,05	1343	26	6,30	-0,50	16,20	-3,10	21,20	5,70	3,60	16,70
1970 - 1999	0,03	1,00	1319	25	6,40	-0,60	16,30	-3,00	21,20	5,70	3,70	16,90
1971 - 2000	0,04	1,12	1327	24	6,40	-0,50	16,30	-3,10	21,20	5,70	3,60	16,80
1972 - 2001	0,04	1,14	1316	24	6,50	-0,50	16,40	-3,00	21,30	5,70	3,60	16,90
1973 - 2002	0,03	1,07	1283	27	6,60	-0,30	16,40	-2,90	21,40	5,60	3,60	16,70
1974 - 2003	0,03	1,15	1295	27	6,60	-0,40	16,50	-2,90	21,50	5,60	3,50	16,90
1975 - 2004	0,03	1,14	1296	29	6,70	-0,40	16,50	-2,90	21,60	5,60	3,70	16,90
1976 - 2005	0,04	1,18	1284	29	6,70	-0,40	16,60	-3,00	21,70	5,60	3,60	17,00
1977 - 2006	0,06	1,30	1281	26	6,80	-0,60	16,60	-3,10	21,80	5,50	3,50	17,20
1978 - 2007	0,09	1,37	1259	24	6,80	-0,50	16,80	-3,10	22,10	5,50	3,50	17,30
1979 - 2008	0,09	1,39	1247	24	6,90	-0,30	16,80	-3,00	22,10	5,50	3,50	17,10
1980 - 2009	0,10	1,41	1225	23	6,90	-0,40	16,80	-3,10	22,20	5,40	3,50	17,20
1981 - 2010	0,10	1,41	1225	23	6,90	-0,40	17,00	-3,10	22,40	5,40	3,50	17,40
1982 - 2011	0,11	1,44	1227	22	7,00	-0,40	17,00	-3,10	22,40	5,40	3,60	17,40
1983 - 2012	0,12	1,47	1224	21	7,00	-0,40	17,00	-3,20	22,50	5,40	3,50	17,40
1984 - 2013	0,14	1,53	1238	21	7,00	-0,50	17,10	-3,20	22,60	5,40	3,50	17,60
1985 - 2014	0,12	1,50	1239	23	7,00	-0,40	17,20	-3,20	22,60	5,40	3,60	17,60
1986 - 2015	0,12	1,47	1245	23	7,10	-0,30	17,20	-3,10	22,60	5,30	3,60	17,50

Es de destacar que el valor mínimo de las medias móviles (Figura 2) no se produce al principio del periodo de observación, sino que lo hace en intervalos de años posteriores. En el caso de la T (Tabla 2 y Figura 2) ese valor mínimo se produce en el intervalo 1951-1980, a partir del cual se produce un incremento continuo que llega con una ligera ralentización en los últimos intervalos analizados hasta nuestros días.

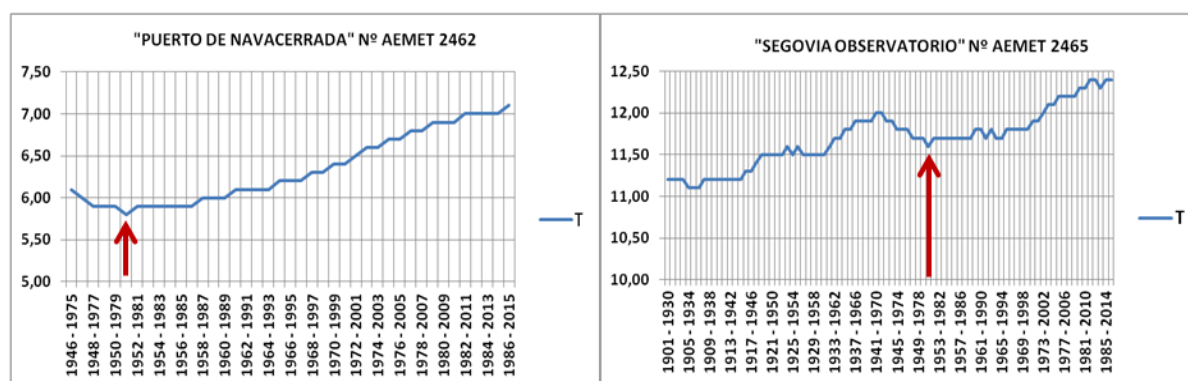


Figura 2: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de la temperatura media anual "T" en las estaciones meteorológicas "Puerto de Navacerrada" y "Segovia Observatorio"

No obstante, mediante el estudio de series más largas como las de la vecina estación de Segovia, se puede apreciar que nos hallaríamos ante un mínimo relativo, dentro de una tendencia generalizada al alza desde principios del siglo XX.

TMMC presenta un comportamiento parecido a T con un mínimo en 1955-1984 mientras para TMMF (Figura 3) además de ser el crecimiento de sus valores mucho menos acusado se aprecia una estabilización e incluso una tendencia a la baja es de la media 1973-2002 que no ocurre con el resto de temperaturas. T

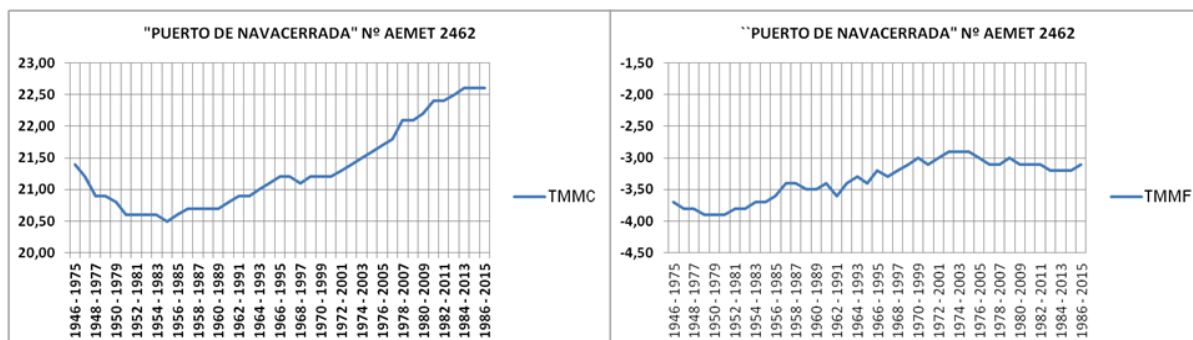


Figura 3: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de las temperaturas media de las máximas del mes más cálido "TMMC" y media de las mínimas del mes más frío TMMF en la estación meteorológica "Puerto de Navacerrada"

Los valores medios de la precipitación anual P (Figura 4) presentan tendencia a la baja que termina en 1980-2009, intervalo a partir del cual la tendencia es tímidamente creciente. Es especialmente relevante la evolución de la duración de la aridez A, que tras un largo periodo de comportamiento relativamente estable, comienza desde la media una notable tendencia al alza.

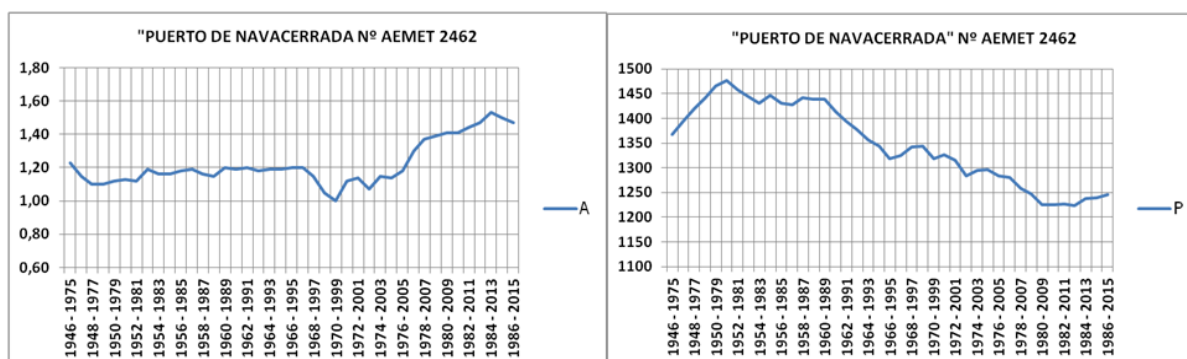


Figura 4: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de los factores duración de la aridez "A" y precipitación anual "P" en la estación meteorológica "Puerto de Navacerrada"

4.2. Modelo Subtipos

El espectro fitoclimático muestra la evolución temporal de los escalares de adecuación de la estación a los 22 subtipos fitoclimáticos de significación fisionómica (Figura 5).

PERIODO	III(IV)- IV(III)- IV1-IV2	IV3	IV4	IV(VI)1	IV(VI)2	VI(IV)1	VI(IV)2	VI(IV)3	VI(IV)4	VI(VII)	VI(V)	VI	VIII(VI)2	X(VIII)- X(X)1	X(X)2	VIII(VII)	VIII(VI)1	
1946 - 1975	****D	-392,28D	-29,58D	-10,28D	-28,10D	****D	-15,01D	0,05D	****D	-10,41D	-2,27D	****D	0,10D	0,39G	****D	-15,83D	0,59A	-16,57D
1947 - 1976	****D	-435,96D	-31,53D	-11,15D	-31,96D	****D	-17,08D	-0,03D	****D	-11,35D	-2,67D	****D	0,10D	0,44G	****D	-14,31D	0,56A	-19,99D
1948 - 1977	****D	****D	-32,07D	-11,72D	-36,31D	****D	-21,08D	-0,10D	****D	-12,65D	-3,42D	****D	0,13D	0,46G	****D	-14,39D	0,49D	-25,90D
1949 - 1978	****D	****D	-34,05D	-12,60D	-36,74D	****D	-23,16D	-0,14D	****D	-13,64D	-3,83D	****D	0,09D	0,46G	****D	-12,97D	0,49D	-29,71D
1950 - 1979	****D	****D	-34,41D	-12,91D	-36,53D	****D	-25,78D	-0,15D	****D	-14,50D	-4,35D	****D	0,08D	0,46G	****D	-13,00D	0,50A	-34,75D
1951 - 1980	****D	****D	-34,50D	-13,08D	-37,30D	****D	-26,90D	-0,18D	****D	-14,92D	-4,62D	****D	0,06D	0,46G	****D	-13,06D	0,49A	-37,07D
1952 - 1981	****D	****D	-34,15D	-12,81D	-36,79D	****D	-24,81D	-0,17D	****D	-14,12D	-4,18D	****D	0,09D	0,46G	****D	-14,49D	0,48A	-32,88D
1953 - 1982	****D	****D	-33,80D	-12,59D	-33,78D	****D	-23,33D	-0,13D	****D	-13,66D	-3,91D	****D	0,06D	0,44G	****D	-14,46D	0,54A	-30,26D
1965 - 1994	****D	-360,70D	-32,03D	-11,20D	-29,17D	****D	-13,36D	-0,02D	****D	-10,06D	-2,01D	****D	0,05D	0,42G	****D	-21,24D	0,55A	-13,94D
1966 - 1995	****D	-326,91D	-30,01D	-10,32D	-28,34D	****D	-11,82D	0,02D	****D	-9,20D	-1,72D	****D	0,08D	0,41G	****D	-25,48D	0,55A	-11,58D
1967 - 1996	****D	-333,40D	-30,21D	-10,42D	-28,43D	****D	-12,13D	0,02D	****D	-9,39D	-1,78D	****D	0,08D	0,41G	****D	-23,28D	0,55A	-12,04D
1968 - 1997	****D	-356,60D	-29,90D	-10,25D	-29,98D	****D	-13,24D	0,02D	****D	-9,42D	-1,91D	****D	0,14D	0,43G	****D	-25,50D	0,52A	-13,53D
1969 - 1998	****D	-357,94D	-29,93D	-10,23D	-33,91D	****D	-13,34D	-0,01D	****D	-9,31D	-1,90D	****D	0,15D	0,45G	****D	-27,84D	0,47D	-13,61D
1970 - 1999	****D	-326,67D	-30,04D	-10,20D	-35,53D	****D	-11,86D	-0,03D	****D	-8,85D	-1,60D	****D	0,17D	0,45G	****D	-30,32D	0,44D	-11,19D
1971 - 2000	****D	-336,56D	-29,69D	-10,06D	-30,45D	****D	-12,29D	0,03D	****D	-8,99D	-1,71D	****D	0,14D	0,43G	****D	-27,81D	0,53A	-12,05D
1972 - 2001	****D	-322,40D	-29,51D	-9,93D	-29,07D	****D	-11,63D	0,05D	****D	-8,71D	-1,58D	****D	0,14D	0,43G	****D	-30,30D	0,53A	-11,05D
1973 - 2002	****D	-305,83D	-27,67D	-9,07D	-31,25D	****D	-10,77D	0,07D	****D	-7,94D	-1,35D	****D	0,19D	0,44G	****D	-32,98D	0,47D	-9,20D
1974 - 2003	****D	-294,82D	-27,62D	-9,08D	-27,96D	****D	-10,40D	0,10D	****D	-7,98D	-1,35D	****D	0,16D	0,42G	****D	-32,97D	0,52A	-9,38D
1975 - 2004	****D	-295,85D	-27,57D	-9,01D	-28,04D	****D	-10,44D	0,11D	****D	-7,92D	-1,31D	****D	0,20D	0,42G	****D	-33,00D	0,48A	-9,24D
1954 - 1983	****D	****D	-33,98D	-12,70D	-34,93D	****D	-22,16D	-0,15D	****D	-13,34D	-3,69D	****D	0,06D	0,45G	****D	-15,99D	0,53A	-28,03D
1955 - 1984	****D	****D	-33,80D	-12,63D	-35,14D	****D	-23,75D	-0,16D	****D	-13,71D	-4,01D	****D	0,05D	0,45G	****D	-16,06D	0,51A	-31,18D
1956 - 1985	****D	****D	-33,50D	-12,45D	-33,91D	****D	-22,04D	-0,13D	****D	-13,12D	-3,69D	****D	0,04D	0,44G	****D	-17,66D	0,54A	-28,00D
1957 - 1986	****D	****D	-33,15D	-12,29D	-33,05D	****D	-21,75D	-0,11D	****D	-12,83D	-3,62D	****D	0,04D	0,44G	****D	-21,31D	0,55A	-27,46D
1958 - 1987	****D	****D	-32,82D	-11,94D	-32,58D	****D	-23,11D	-0,09D	****D	-12,85D	-3,80D	****D	0,06D	0,44G	****D	-21,34D	0,51A	-30,00D
1959 - 1988	****D	****D	-33,07D	-12,04D	-32,98D	****D	-22,91D	-0,09D	****D	-12,90D	-3,74D	****D	0,07D	0,45G	****D	-19,43D	0,50A	-29,48D
1960 - 1989	****D	****D	-32,96D	-12,00D	-31,11D	****D	-22,80D	-0,07D	****D	-12,89D	-3,73D	****D	0,06D	0,43G	****D	-19,40D	0,55A	-29,32D
1961 - 1990	****D	-466,42D	-32,11D	-11,43D	-30,31D	****D	-18,53D	-0,05D	****D	-11,46D	-2,97D	****D	0,06D	0,42G	****D	-21,30D	0,54A	-22,64D
1962 - 1991	****D	-436,32D	-33,12D	-11,87D	-30,06D	****D	-17,03D	-0,05D	****D	-11,52D	-2,69D	****D	0,06D	0,42G	****D	-17,56D	0,56A	-19,92D
1963 - 1992	****D	-409,70D	-32,67D	-11,63D	-30,45D	****D	-15,73D	-0,05D	****D	-10,92D	-2,44D	****D	0,07D	0,43G	****D	-21,27D	0,54A	-17,68D
1964 - 1993	****D	-378,70D	-32,05D	-11,32D	-29,80D	****D	-14,23D	-0,04D	****D	-10,29D	-2,19D	****D	0,05D	0,42G	****D	-23,31D	0,55A	-15,35D
1976 - 2005	****D	-306,87D	-27,53D	-8,98D	-26,48D	****D	-10,78D	0,14D	****D	-7,99D	-1,35D	****D	0,18D	0,42G	****D	-30,33D	0,52A	-9,29D
1977 - 2006	****D	-300,94D	-26,10D	-8,32D	-24,60D	****D	-10,56D	0,20D	****D	-7,72D	-1,34D	****D	0,14D	0,34A	****D	-27,77D	0,59G	-9,25D
1978 - 2007	****D	-275,02D	-25,80D	-8,15D	-21,82D	****D	-9,34D	0,23D	****D	-7,44D	-1,17D	****D	0,11D	0,28D	****D	-27,75D	0,62G	-7,82D
1979 - 2008	****D	-261,42D	-25,41D	-7,93D	-20,84D	****D	-8,72D	0,25D	****D	-7,13D	-1,08D	****D	0,09D	0,24D	****D	-30,25D	0,62G	-7,15D
1980 - 2009	****D	-236,84D	-24,08D	-7,39D	-20,03D	****D	-7,66D	0,27D	****D	-6,75D	-0,91D	****D	0,10D	0,17D	****D	-27,75D	0,62G	-6,12D
1981 - 2010	****D	-236,82D	-24,07D	-7,37D	-19,91D	****D	-7,66D	0,28D	****D	-6,74D	-0,90D	****D	0,10D	0,16D	****D	-27,74D	0,63G	-6,15D
1982 - 2011	****D	-238,66D	-23,96D	-7,31D	-18,79D	****D	-7,74D	0,30D	****D	-6,74D	-0,92D	****D	0,09D	0,06D	****D	-27,75D	0,63G	-6,53D
1983 - 2012	****D	-235,71D	-23,96D	-7,29D	-17,87D	****D	-7,60D	0,30D	****D	-6,81D	-0,94D	****D	0,04D	-0,07D	****D	-25,41D	0,64G	-6,98D
1984 - 2013	****D	-249,93D	-23,98D	-7,33D	-16,23D	****D	-8,25D	0,31D	****D	-7,07D	-1,12D	****D	-0,05D	-0,62D	****D	-25,46D	0,64G	-9,85D
1985 - 2014	****D	-250,92D	-23,89D	-7,27D	-16,99D	****D	-8,29D	0,31D	****D	-6,97D	-1,07D	****D	0,04D	-0,15D	****D	-25,42D	0,64G	-7,96D
1986 - 2015	****D	-254,98D	-22,25D	-6,56D	-17,36D	****D	-8,55D	0,34A	****D	-6,55D	-1,05D	****D	0,09A	-0,03D	****D	-27,76D	0,62G	-7,91D

Figura 5: Evolución de los escalares de adecuación fitoclimática del modelo "Subtipos". En verde las posiciones Genuinas (G), en naranja las Análogas (A), en azul las Disparas positivas (D) y en blanco las Disparas negativas (D).

El viraje de la estación desde el subtipo VIII(VI)₂ oroborealoides subnemorales húmedo a VIII(VII) oroborealoides substepario se debe al incremento de la duración de la aridez A que a partir de 1977-2006 alcanza y supera los 1,25 meses de los que por otro lado nunca estuvo demasiado lejos. Esta cuestión se aprecia en la baja genuinidad en el subtipo VIII(VI)₂ cuando es alcanzado frente a la alta analogía y posterior genuinidad en el subtipo VIII(VII). Cabe señalar que un incremento de las temperaturas que lleve a una disminución de los meses de helada segura por debajo de los 5 meses (tendencia que aunque muy paulatina ya se observa) llevaría ineludiblemente a la estación a posiciones nemorales VI si el factor A se vuelve a colocar por debajo de 1,25, lo cual parece poco probable aunque posible dadas las oscilaciones detectadas, o nemoromediterráneas menos secas VI(IV)₂ si el factor A, como parece probable, continuara su ascenso. Esta tendencia, con la indefinición que imprime la evolución del factor A, ya se aprecia en el espectro fitoclimático de 1986-2015 donde ambos fitoclimas aparecen ya como análogos mientras que el subtipo VIII(VI)₂ se coloca ya como dispar lejano.

4.3. Modelo Especies

El espectro fitoclimático del “Modelo Especies” presenta los índices de idoneidad de la estación “Puerto de Navacerrada” respecto de las 18 formaciones forestales definidas en el sistema (Figura 6).

Período	Pun	Psy	Aal	Fsy	Qpe	Qro	Api	Pni	Qhu	Qpy	Qfa	Jth	Qca	Qsu	Qil	Ppi	Pha	Ppr
1946 - 1975	0,14D	0,73G	-86,82D	0,55A 2	-0,62D	-8,18D	-1.018,37D	-1,46D	-1,49D	0,57A 1	-0,26D	-0,06A 2	-1.077,17D	-23,54D	0,14A 2	-16,27D	-11,25D	-4,76D
1947 - 1976	0,20D	0,74G	-66,22D	0,54A 2	-0,66D	-8,97D	-1.049,91D	-1,83D	-1,63D	0,54A 1	-0,41D	-0,15D	-1.140,62D	-25,48D	0,12A 2	-17,71D	-12,36D	-5,38D
1948 - 1977	0,26D	0,75G	-55,27D	0,56A 2	-0,55D	-9,42D	-1.108,55D	-2,21D	-1,58D	0,53A 1	-0,53D	-0,19D	-1.182,49D	-25,92D	0,12A 2	-18,57D	-13,12D	-5,57D
1949 - 1978	0,26D	0,77G	-55,25D	0,54A 2	-0,69D	-11,70D	-1.134,40D	-2,64D	-1,83D	0,48A 2	-0,74D	-0,36D	-1.306,24D	-34,00D	0,07A 2	-23,12D	-16,26D	-7,46D
1950 - 1979	0,26D	0,78G	-59,40D	0,54A 2	-0,85D	-12,05D	-1.181,87D	-2,83D	-1,91D	0,44A 2	-0,85D	-0,53D	-1.355,60D	-34,21D	0,06A 2	-23,69D	-16,65D	-7,63D
1951 - 1980	0,25D	0,79G	-61,62D	0,52A 2	-1,00D	-12,25D	-1.169,34D	-3,04D	-2,11D	0,42A 2	-0,93D	-0,62D	-1.389,95D	-34,35D	0,06A 2	-24,19D	-16,93D	-7,70D
1952 - 1981	0,25D	0,77G	-59,42D	0,53A 2	-0,73D	-11,75D	-1.125,61D	-2,82D	-1,89D	0,47A 2	-0,82D	-0,44D	-1.306,11D	-34,07D	0,06A 2	-23,64D	-16,49D	-7,50D
1953 - 1982	0,20D	0,77G	-75,95D	0,52A 2	-0,82D	-11,74D	-1.088,19D	-2,77D	-2,00D	0,48A 2	-0,80D	-0,44D	-1.306,89D	-34,06D	0,07A 2	-23,49D	-16,41D	-7,48D
1954 - 1983	0,21D	0,76G	-68,54D	0,52A 2	-0,87D	-11,79D	-1.095,35D	-2,81D	-2,03D	0,46A 2	-0,82D	-0,47D	-1.311,69D	-34,08D	0,06A 2	-23,45D	-16,42D	-7,51D
1955 - 1984	0,21D	0,77G	-68,63D	0,51A 2	-1,16D	-11,92D	-1.078,06D	-2,83D	-2,43D	0,47A 2	-0,82D	-0,53D	-1.426,14D	-34,11D	0,07A 2	-23,58D	-16,43D	-7,50D
1956 - 1985	0,19D	0,75G	-73,54D	0,49A 2	-1,10D	-11,72D	-1.051,11D	-2,74D	-2,39D	0,48A 2	-0,76D	-0,45D	-1.395,69D	-33,99D	0,07A 2	-23,21D	-16,20D	-7,42D
1957 - 1986	0,18D	0,74G	-76,09D	0,48A 2	-1,06D	-11,58D	-1.030,52D	-2,63D	-2,36D	0,49A 2	-0,71D	-0,39D	-1.366,92D	-33,89D	0,08A 2	-22,83D	-15,99D	-7,35D
1958 - 1987	0,22D	0,74G	-68,64D	0,49A 2	-1,03D	-11,10D	-1.061,24D	-2,38D	-2,30D	0,49A 2	-0,63D	-0,38D	-1.386,76D	-33,48D	0,08A 2	-22,37D	-15,40D	-7,16D
1959 - 1988	0,23D	0,74G	-66,18D	0,51A 2	-0,73D	-11,06D	-1.096,44D	-2,37D	-1,90D	0,49A 2	-0,65D	-0,34D	-1.293,85D	-33,51D	0,08A 2	-22,44D	-15,51D	-7,19D
1960 - 1989	0,18D	0,74G	-78,58D	0,51A 2	-0,74D	-11,05D	-1.049,53D	-2,37D	-1,90D	0,49A 2	-0,65D	-0,34D	-1.245,89D	-33,51D	0,07A 2	-22,43D	-15,51D	-7,19D
1961 - 1990	0,18D	0,73G	-75,99D	0,51A 2	-0,65D	-10,54D	-1.019,36D	-2,07D	-1,82D	0,51A 2	-0,53D	-0,23D	-1.203,32D	-33,10D	0,08A 2	-21,70D	-14,85D	-6,97D
1962 - 1991	0,18D	0,75G	-78,58D	0,52A 2	-0,79D	-10,90D	-1.066,86D	-2,15D	-1,86D	0,48A 2	-0,60D	-0,34D	-1.251,27D	-33,29D	0,08A 2	-21,95D	-15,12D	-7,13D
1963 - 1992	0,19D	0,73G	-73,45D	0,50A 2	-0,67D	-10,57D	-1.036,41D	-2,04D	-1,81D	0,51A 2	-0,52D	-0,23D	-1.216,96D	-33,10D	0,08A 2	-21,53D	-14,80D	-6,99D
1964 - 1993	0,19D	0,74G	-76,08D	0,49A 2	-0,98D	-10,70D	-1.030,84D	-2,00D	-2,20D	0,51A 2	-0,49D	-0,26D	-1.340,07D	-33,11D	0,09A 2	-21,42D	-14,73D	-6,99D
1965 - 1994	0,19D	0,74G	-76,07D	0,50A 2	-0,97D	-10,61D	-1.028,98D	-1,90D	-2,17D	0,52A 2	-0,45D	-0,24D	-1.334,59D	-33,03D	0,09A 2	-21,22D	-14,59D	-6,95D
1966 - 1995	0,19D	0,73G	-78,68D	0,52A 2	-0,87D	-8,48D	-1.037,44D	-1,48D	-1,92D	0,57A 1	-0,26D	-0,09D	-1.246,37D	-25,03D	0,15A 2	-16,77D	-11,56D	-5,12D
1967 - 1996	0,19D	0,73G	-78,68D	0,52A 2	-0,90D	-8,52D	-1.042,48D	-1,50D	-1,93D	0,56A 1	-0,28D	-0,11D	-1.250,47D	-25,05D	0,14A 2	-16,82D	-11,59D	-5,14D
1968 - 1997	0,21D	0,72G	-66,17D	0,56A 2	-0,37D	-8,09D	-1.025,34D	-1,40D	-1,35D	0,59A 1	-0,22D	0,04D	-1.066,41D	-24,88D	0,14A 2	-16,69D	-11,45D	-5,01D
1969 - 1998	0,25D	0,71G	-45,84D	0,56A 2	-0,36D	-8,01D	-1.017,92D	-1,36D	-1,35D	0,59A 1	-0,20D	0,06D	-1.055,03D	-24,83D	0,14A 2	-16,57D	-11,36D	-4,98D
1970 - 1999	0,25D	0,70G	-37,58D	0,59A 1	0,02D	-7,75D	-1.009,87D	-1,30D	-0,80D	0,59A 1	-0,20D	0,11D	-858,45D	-24,76D	0,13A 2	-16,46D	-11,31D	-4,95D
1971 - 2000	0,21D	0,72G	-59,50D	0,56A 2	-0,34D	-7,93D	-985,90D	-1,28D	-1,32D	0,60A 1	-0,18D	0,09D	-1.020,43D	-24,76D	0,14A 2	-16,41D	-11,25D	-4,94D
1972 - 2001	0,20D	0,72G	-63,90D	0,57A 2	-0,33D	-7,84D	-982,52D	-1,20D	-1,29D	0,61A 1	-0,14D	0,11D	-1.013,71D	-24,69D	0,15A 2	-16,23D	-11,12D	-4,90D
1973 - 2002	0,25D	0,71G	-49,47D	0,58A 2	-0,28D	-7,11D	-1.012,92D	-0,94D	-1,19D	0,63A 1	-0,03D	0,19A 2	-1.015,61D	-22,83D	0,17A 2	-14,92D	-10,12D	-4,31D
1974 - 2003	0,21D	0,71G	-66,22D	0,57A 2	-0,42D	-7,21D	-1.016,00D	-0,93D	-1,32D	0,63A 1	-0,03D	0,15A 2	-1.056,55D	-22,86D	0,17A 2	-14,92D	-10,13D	-4,34D
1975 - 2004	0,20D	0,69G	-63,82D	0,59A 1	0,10D	-6,76D	-1.054,72D	-0,82D	-0,63D	0,62A 1	0,00D	0,25A 2	-865,22D	-22,65D	0,16A 2	-14,68D	-9,91D	-4,24D
1976 - 2005	0,20D	0,71G	-73,39D	0,57A 2	-0,27D	-7,00D	-1.054,27D	-0,79D	-1,14D	0,63A 1	0,03D	0,22A 2	-1.049,69D	-22,68D	0,17A 2	-14,60D	-9,86D	-4,26D
1977 - 2006	0,10D	0,72G	-108,42D	0,57A 2	-0,41D	-6,71D	-1.006,77D	-0,68D	-1,20D	0,65A 1	0,07D	0,21A 2	-1.023,16D	-21,20D	0,19A 2	-13,84D	-9,33D	-3,86D
1978 - 2007	0,02D	0,70G	-133,87D	0,54A 2	-0,42D	-6,65D	-966,54D	-0,57D	-1,18D	0,65A 1	0,12D	0,25A 2	-971,26D	-21,12D	0,19A 2	-13,42D	-9,12D	-3,84D
1979 - 2008	0,00D	0,70G	-141,89D	0,53A 2	-0,40D	-6,49D	-952,29D	-0,52D	-1,16D	0,66A 1	0,15D	0,28A 2	-953,51D	-21,02D	0,19A 2	-13,24D	-8,97D	-3,78D
1980 - 2009	-0,03D	0,69G	-150,27D	0,53A 2	-0,39D	-5,35D	-946,18D	-0,32D	-1,05D	0,66A 1	0,23A 2	0,32A 2	-890,54D	-16,46D	0,21A 2	-10,73D	-7,28D	-2,84D
1981 - 2010	-0,03D	0,68G	-150,28D	0,53A 2	-0,40D	-5,35D	-945,40D	-0,28D	-1,04D	0,65A 1	0,25A 2	0,33A 2	-885,07D	-16,44D	0,21A 2	-10,58D	-7,22D	-2,84D
1982 - 2011	-0,08D	0,69G	-163,47D	0,53A 2	-0,27D	-5,25D	-934,24D	-0,24D	-0,89D	0,67A 1	0,27A 2	0,38A 2	-834,51D	-16,39D	0,21A 2	-10,52D	-7,17D	-2,81D
1983 - 2012	-0,12D	0,68G	-177,63D	0,51A 2	-0,42D	-5,31D	-926,48D	-0,25D	-1,03D	0,66A 1	0,26A 2	0,34A 2	-863,80D	-16,40D	0,21A 2	-10,51D	-7,15D	-2,82D
1984 - 2013	-0,19D	0,68G	-208,51D	0,49A 2	-0,48D	-5,36D	-932,28D	-0,24D	-1,03D	0,66A 1	0,26A 2	0,33A 2	-869,87D	-16,43D	0,21A 2	-10,54D	-7,19D	-2,84D
1985 - 2014	-0,14D	0,69G	-192,53D	0,52A 2	-0,28D	-5,25D	-943,05D	-0,20D	-0,87D	0,67A 1	0,29A 2	0,39A 2	-841,24D	-16,37D	0,22A 2	-10,44D	-7,13D	-2,80D
1986 - 2015	-0,11D	0,68G	-177,56D	0,53A 2	-0,25D	-4,80D	-935,51D	-0,08D	-0,82D	0,68A 1	0,34A 2	0,42A 2	-815,04D	-15,11D	0,23A 2	-9,66D	-6,52D	-2,43D

Figura 6: Evolución de los índices de idoneidad fitoclimática de las principales especies forestales (18) del sistema respecto a la estación meteorológica “Puerto de Navacerrada”. Abreviaturas: Pun: Pinus uncinata; Psy: Pinus sylvestris; Aal: Abies alba; Fsy: Fagus sylvatica; Qpe: Quercus petraea; Qro: Quercus robur; Api: Abies pinsapo; Pni: Pinus nigra; Qhu: Quercus humilis; Qpy: Quercus pyrenaica; Qfa: Quercus faginea; Jth: Juniperus thurifera; Qca: Quercus canariensis; Qsu: Quercus suber; Qil: Quercus ilex; Ppi: Pinus pinea; Pha: Pinus halepensis; Ppr: Pinus pinaster. En verde las posiciones Genuinas (G), en naranja las Análogas de 1^{er} orden (A1), en amarillo las Análogas de 2^o orden (A2) y en azul las Dispersas positivas (D) y en blanco las Dispersas negativas (D).

Las formaciones de pino silvestre siguen siendo las únicas genuinas si bien su índice de idoneidad (Figura 7) ha experimentado una caída importante desde su máximo valor de genuinidad 0,79 en 1951-1980, siendo el mínimo de 0,68 en 1986-2015. Es relevante destacar que con anterioridad al periodo de máximo valor, en 1946-1975, dicho valor tan solo alcanzaba 0,73 por lo que no estamos tan lejos de los valores al inicio del periodo de observación.

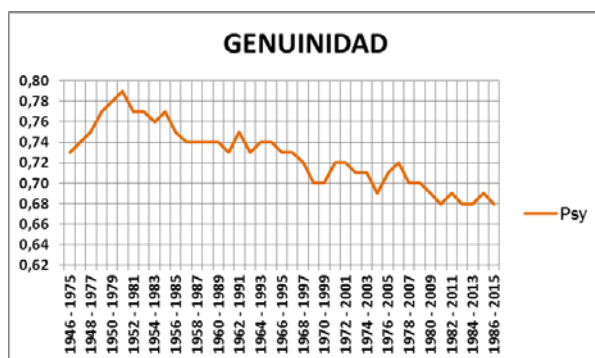


Figura 7: Evolución de los índices de idoneidad de la estación Puerto de Navacerrada a las formaciones de *Pinus sylvestris*, genuinas para la estación, en medias móviles de 30 años

Si bien la tendencia hacia formaciones planicaducifolias de carácter nemoral se mantiene más o menos discreta y estable alrededor de posiciones de analogía de 2º orden (A2), el haya mantiene su posición fitoclimática respecto a la estación, para la que no consigue sin embargo alcanzar la genuinidad debido principalmente a la intensidad y duración de la aridez. Pese a que en el periodo 1946-1985 se encontraba en una posición fitoclimática más próxima a la estación que el rebollo, que a partir de 1971-2000 éste le toma el relevo. Los mayores acercamientos (Figura 8) en términos absolutos se producen hacia las formaciones de *Quercus pyrenaica* que terminan en posiciones de analogía de 1er orden (A1) y alto índice de idoneidad (0,68), mientras en términos relativos se produce en relación con los quejigares de *Quercus faginea* y los sabinars albares de *Juniperus thurifera*, que partiendo de posiciones dispares negativas terminan en posiciones de Analogía de 2º orden (A2). Los encinares experimentan un ligero acercamiento si abandonar posiciones de Analogía de 2º orden (A2).

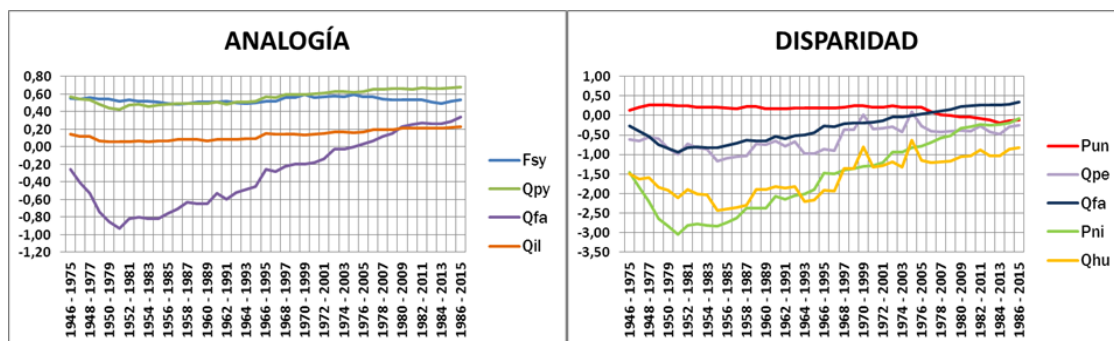


Figura 8: Evolución de los índices de idoneidad a las formaciones análogas A1 y A2 y dispares D, en medias móviles de 30 años

Por último, es especialmente llamativo el acercamiento de la estación con respecto a *Pinus nigra* que hasta no hace tanto tiempo presentaba una disparidad lejana, hasta alcanzar valores casi positivos que lo situarían en una disparidad cercana. En dirección opuesta evolucionan los escalares de idoneidad respecto de *Pinus uncinata*.

El índice de entropía o versatilidad fitoclimática (Figura 9) tras un largo periodo de relativa estabilidad, presenta una clara tendencia a aumentar a partir de la media 1965-1994 hasta 1975-2004, intervalo a partir del cual parece estabilizarse nuevamente hasta la actualidad.

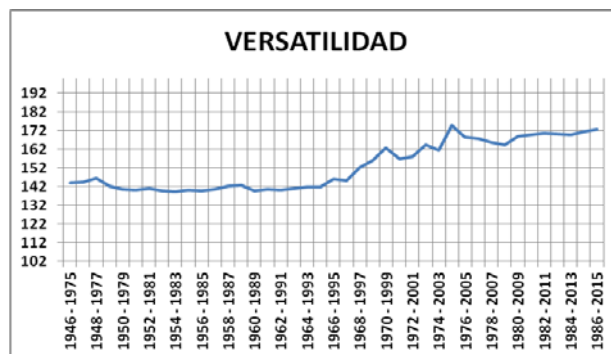


Figura 9: Evolución del índice de entropía o versatilidad fitoclimática, considerando los índices de idoneidad positivos tanto en posiciones de genuinidad como de analogía o disparidad.

5. Conclusiones y Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el aumento de las temperaturas, especialmente de las máximas, está provocando un creciente efecto estepizante en la estación estudiada, al combinarse un frío invernal todavía intenso con una creciente duración e intensidad de la aridez. Esta tendencia se evidencia tanto en los resultados obtenidos a través de la aplicación del “Modelo Subtipos” como del “Modelo Especies”.

El “Modelo Subtipos” revela que si bien la fisionomía dominante seguirá siendo oroborealoides aciculiperennifolia y por tanto compatible con formaciones exclusivas de *Pinus sylvestris* como hasta ahora, se produce una clara tendencia al cambio desde posiciones fitoclimáticas subnemorales a subestépicas, con un paulatino acercamiento a subtipos nemoromediterráneos propios de fisionomías planifolias marcescentes. Este resultado es corroborado por el “Modelo Especies” que evidencia que la única formación que seguirá siendo compatible es la dominada por *Pinus sylvestris*, pero con una clara tendencia al alejamiento de formaciones oroborealoides aciculiperennifolias de carácter eurosiberiano como *Pinus uncinata*, sin acercamiento a formaciones nemorales planicaducifolias. Ello es debido a que el aumento de temperatura, favorable a las planicaducifolias se ve condicionado a su vez por una creciente duración e intensidad de la aridez. El acercamiento se produce sin embargo hacia formaciones marcescentes y aciculifolias que en otros lugares tienen claras relaciones con medios influidos por la estepicidad como *Juniperus thurifera*, *Pinus nigra*, *Quercus faginea* y *Quercus pyrenaica*.

El acercamiento paulatino, aunque todavía tímido, a varios tipos de formaciones distintas a las dominadas por el pino silvestre, apunta en los últimos decenios a una tendencia de aumento de la entropía o versatilidad fitoclimática de la estación, lo que unido a la notable potencialidad fitoclimática de amplio rango del pino silvestre hace que la vulnerabilidad de sus masas boscosas de alta montaña en el Sistema Central, y en concreto en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, no sea especialmente alta.

Los pinares de pino silvestre de alta montaña de la Sierra de Guadarrama no peligran en cuanto a su existencia en un futuro cercano aunque su estructura y composición, y por lo tanto en su fisionomía, podrían verse modificados con la irrupción como especie secundaria de *Quercus pyrenaica* principalmente, que modificaría la composición, fisionomía y relaciones de competencia interespecíficas de estas formaciones. Este proceso conforme al cual varias formaciones de coníferas de montaña se verían enriquecidas con el aporte migratorio de frondosas procedentes de cotas inferiores ha sido ampliamente señalado por varios autores (i.e. THUILLER et al., 2006; HOTMEIER & BROLL, 2007; GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2010).

Las observaciones de campo apuntan también hacia esta tendencia, pues el límite altitudinal del pinar natural puro de pino silvestre se está elevando, y ello, al margen de consideraciones relativas al cambio de uso, posiblemente relacionado con la dinámica climática en el Sistema Central cuestión que puede corroborar la abundante regeneración natural de pino silvestre en cotas altitudinales en las que hace escasamente un siglo no existía. Estas predicciones deberán en todo caso manejarse con cautela pues las causas climáticas de la migración y enriquecimiento en altura de especies arbóreas pueden sobreponerse a otras causas como el abandono de determinadas prácticas ganaderas de alta montaña (GEHRING-FASEL et al, 2007).

El favorecer la frondosa en los lugares en los que vaya apareciendo, al principio en lugares con algún tipo de compensación (abrigo y humedad, etc...) o incluso su introducción mediante plantaciones de enriquecimiento podría llegar a ser una práctica de gestión adaptativa que favorecería la estabilidad y viabilidad de las masas futuras en el caso de que el cambio climático se acelerara, así como la modificación de los instrumentos de planificación forestal en cuanto a los objetivos de gestión y el tratamiento a dar a las especies acompañantes.

Entre las limitaciones de la aplicación de los modelos cabe señalar el de su calibración, puesto que las fisionomías consideradas en el “Modelo Subtipos” y las especies arbóreas consideradas en el “Modelo Especies” presentan áreas de distribución natural que exceden con mucho a la Península Ibérica, lo que implica que los paralelepípedos o envolventes climáticas construidas no reflejan la totalidad sus ámbitos fitoclimáticos potenciales de las especies. Esta limitación ya ha sido señalada en otros trabajos (e.g., Petit et al., 2005) y puede estar detrás de la disminución del índice de idoneidad de *Pinus sylvestris*, que probablemente no sea tan acusada. Otra cuestión a tener muy en cuenta es la capacidad de adaptación intrínseca, de carácter genético, a nivel de individuo, comunidad o especie, que pueda traer consigo cambios en la forma de las envolventes inicialmente calculadas (KREMER, 2007; LINDNER et al., 2010).

Los ecosistemas ligados a fitoclimas oroárticos por encima del nivel de los pinares reducirán su superficie lo que puede aparejar la pérdida de especies protegidas asociadas a los mismos. Dado que no se puede luchar contra este proceso será necesario incrementar los esfuerzos en la detección de dichas especies así como de sus mecanismos de pervivencia a los efectos de monitorizar y minimizar las consecuencias del cambio climático.

7. Bibliografía

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

ALLUÉ ANDRADE, J.L.; 1997. Tres nuevos modelos para la fitoclimatología forestal: Diagnósis, Idoneidad y dinámica de fitoclimas. Actas IRATI'97. 1er Congreso Forestal Hispano-Luso. I: 31-40. Pamplona.

CONDIT, R., AGUILAR, S., HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, R., LAO, S., PYKE, C.; 2005. Spatial changes in tree composition of high-diversity forests: how much is predictable? 271-294 in E. Bermingham, C.W. Dick and C. Moritz (eds.), Tropical Forests: past, present and future. Univ. of Chicago Press, Chicago, IL, USA.

DAVIS, M.E., SHAW, R.G., ETTERTSON, J.R.; 2005. Evolutionary responses to climate change. Ecology, 86: 1704-1714.

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

GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, C.; 2010. Effects of climate change on the distribution of *Pinus sylvestris* L. stands in Spain. A phytoclimatic approach to defining management alternatives. *Forest Systems*, 19(3): 329-339.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. & ALLUÉ, C.; 2011. Modelling phytoclimatic versatility as a large scale indicator of adaptive capacity to climate change in forest ecosystems. *Ecological Modelling*, 222 (8), 1436-1447.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. & ALLUÉ, C.; 2012. A phytoclimatic-based indicator for assessing the inherent responsiveness of the European forests to climate change. *Ecological Indicators*, 18: 73-81.

GARCÍA-LÓPEZ, J.M. & ALLUÉ, C.; 2017. *Flora Silvestre del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama*. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Serie Técnica. 623 pp.

GEHRING-FASEL J., GUSIAN, A., ZIMMERMANN, N.E.; 2007. Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment. *J. Veg. Sci.*, 18: 571-582.

GUISAN, A., THUILLER, W.; 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009.

HOLTMEIER F.-K., BROLL G.; 2007. Treeline advance-driving processes and adverse factors. *Landscape Online*, 1: 1-33. doi:10.33097/LO.200701.

JOST, L.; 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363-375.

KREMER, A.; 2007. How well can existing forests withstand climate change? In: Koskela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioersivity International, Rome, Italy. 3-17.

LINDNER, M., MAROSCHEK, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCÍA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M.J., MARCHETTI, M.; 2010. Climate change impacts, adaptive capacity and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 698-709.

MALANSON, G. P.; 2001. Complex responses to global change at alpine treeline. *Physical Geography*, 22: 333-342.

PETIT, R.J., HAMPE, A., CHEDDADI, R.; 2005. Climate changes and tree phytogeography in the Mediterranean. *Taxon*, 54: 877-885.

SHANNON, C.; 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Tech. Journ.*, 27: 379-423, 623-656.

THUILLER, W., LAVOREL, S., SYKES, M.T., ARAÚJO, M.B.; 2006. Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe. *Diversity and Distributions*, 12: 49-60.