



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-004

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 pirenaica. 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@jcy.l.es

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

Resumen

Se analizan los efectos de la dinámica fitoclimática sobre la adecuación y la idoneidad fitoclimática actual y futura de las cubiertas arbóreas dominantes de la alta montaña pirenaica a través de la estación termopluviométrica “Lago San Mauricio” a 1920 m de altitud y con 62 años de observaciones (1953- 2015). Situada en el piso subalpino, es representativa de formaciones naturales dominadas por *Pinus uncinata*. La aplicación de modelos fitoclimáticos a la evolución de los valores de las medias móviles de 12 factores fitoclimáticos revela cambios en los índices de adecuación de la estación respecto a 22 subtipos fisionómicos y a 18 formaciones forestales, cambios que se producen con anterioridad al intervalo 1973-2002 a partir del cual se observa una estabilización. Los resultados muestran que el aumento de las temperaturas hasta 1973-2002, provocó un viraje en la estación desde posiciones oroborealoides genuinas -X(VIII)- a oroborealoides subnemorales -VIII(VI)₂- que se ha mantenido estable al hacerlo también las temperaturas. La fisionomía dominante seguirá siendo aciculiperennifolia, compatible con formaciones de *Pinus uncinata*. No obstante *Pinus uncinata* pierde capacidad competitiva relativa frente a *Abies alba*, con una tímida todavía aproximación de *Pinus sylvestris*.

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 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; BATTLORI *et al.*, 2009), y 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 pirenaica, a través de la aplicación de modelos fitoclimáticos al caso concreto de un ecosistema forestal de alta montaña en el Pirineo Central, el bosque de pino negro (*Pinus*

uncinata) que rodea al Lago San Mauricio situado en el Parque Nacional de Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Lérida).

Se espera así poder evaluar los posibles efectos 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 en medias móviles de 30 años de amplitud.

La entropía o versatilidad fitoclimática (GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2011) de la estación se calculó mediante la siguiente fórmula derivada de la teoría de la información y análoga al clásico Índice de Entropía de Shannon (SHANNON, 1948) aplicada al conjunto de índices de idoneidad positivos por especies:

$$v_p = -100 \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{e_p^{A_i}}{\sum_{i=1}^k e_p^{A_i}} \right) \ln \left(\frac{e_p^{A_i}}{\sum_{i=1}^k e_p^{A_i}} \right) \right]$$

Con las siguientes condiciones: $e_p^{A_i} > 0$

siendo el escalar de adecuación de la estación P respecto de los ámbitos de las i formaciones incluidas en el sistema $e_p^{A_i}$

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 9660 “Lago San Mauricio”, que cuenta con 62 años de observación (1953-2015), está situada a 1920 m de altitud en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici en el Pirineo Central (provincia de Lérida), y cuya vegetación natural se corresponde con formaciones de *Pinus uncinata*.

Se incluyen los factores fitoclimáticos utilizados y su forma de cálculo (Tabla 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

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 a dicho ámbito o si por el contrario es Dispar (D) por ser exterior y alejado del ámbito al menos en relación con algún factor.

En el “Modelo Especies” la adecuación de la estación a una formación forestal dominante se expresa a través del correspondiente índice de idoneidad 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 de la formación forestal definido por una envolvente convexa en el hiperespacio factorial de 12 dimensiones, si es Análogo A por ser exterior a la envolvente convexa pero muy cercano a ella o si por el contrario es Dispar (D) por ser exterior y alejado del ámbito definido tanto por envolvente al menos en relación con algún factor.

Se incluye la clave numérica cualitativa del “Modelo Subtipos” así como la significación fitológica de cada uno de ellos (Figura 1) para una más fácil lectura del trabajo.

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	Genuinos	Lentiscares	
				P > 450	IV2			Acebuchales	
			TMC < 9,5	P ≤ 400	IV1			Coscojares	
				440 < P ≤ 500	IV3			Encinares secos	
				P > 500	IV4			Encinares húmedos	
	TMMF ≤ 0	TMF ≤ 2		IV(VII)		Subestepario	Piornales espinosos almohadillados		
		TMF > 2		IV(VI)1		Subbemorales	Encinares húmedos con quejigo o rebollo		
	1,25 ≤ A < 3	TMF ≥ 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		Nemorome-diterráneo	Submedite-rráneo	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	Genuino	Pinares de silvestre o pino moro
		TMC ≤ 10			X(IX)1			Termoaxérico	Pastos alpinos
	A > 0			X(IX)2			Termoxérico	Pastos alpinoideos	

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

4. Resultados

4.1. Dinámica factorial

La tendencia al alza de las temperaturas (Tabla 2 y Figuras 2, 3 y 4) se prolongan hasta más o menos la mitad del periodo de observación con una cierta tendencia a la estabilidad en todas ellas durante un periodo variable pero que en todos los casos incluye el intervalo de años 1973-2015.

Tabla 2: Valores de las medias móviles de 30 años de los 12 factores fitoclimáticos entre 1953 y 2015 (61 años de observación) en la estación meteorológica del "Lago San Mauricio"

Período	K	A	P	PE	T	TMF	TMC	TMMF	TMMC	HS	PV	OSC
1953 - 1982	0,00	0,00	1327	97	4,3	-2,9	12,8	-8,1	18,9	6,1	4,3	15,7
1954 - 1983	0,00	0,00	1329	95	4,3	-2,9	12,9	-8,1	19	6,1	4,3	15,8
1955 - 1984	0,00	0,00	1341	99	4,3	-2,9	13	-8	19	6,2	4,3	15,9
1956 - 1985	0,00	0,00	1339	95	4,2	-2,8	13	-7,9	18,8	6,2	4,3	15,8

1957 - 1986	0,00	0,00	1335	92	4,3	-2,7	13	-7,2	19	6,2	4,3	15,7
1958 - 1987	0,00	0,00	1409	107	4,3	-3	13,1	-7,5	19	6,2	4,3	16,1
1959 - 1988	0,00	0,00	1402	111	4,2	-2,8	13,1	-7,6	19,1	6,2	4,3	15,9
1960 - 1989	0,00	0,00	1392	111	4,2	-2,9	13,2	-7,7	19,2	6,2	4,3	16,1
1961 - 1990	0,00	0,00	1396	108	4,4	-2,8	13,3	-7,2	19,3	6,2	4,4	16,1
1962 - 1991	0,00	0,00	1364	103	4,5	-2,7	13,5	-7,1	19,6	6,2	4,3	16,2
1963 - 1992	0,00	0,00	1395	102	4,6	-,7	13,6	-7	19,7	6,1	4,3	16,3
1964 - 1993	0,00	0,00	1390	98	4,6	-2,6	13,7	-6,8	19,8	6,2	4,3	16,3
1965 - 1994	0,00	0,00	1390	98	4,6	-2,6	13,7	-6,8	19,8	6,2	4,3	16,3
1966 - 1995	0,00	0,00	1324	94	4,6	-2,5	13,6	-6,7	19,7	6,1	4,3	16,1
1967 - 1996	0,00	0,00	1302	92	4,5	-2,5	13,5	-6,7	19,5	6,2	4,2	16
1968 - 1997	0,00	0,00	1279	92	4,5	-2,6	13,7	-6,8	19,7	6,2	4,2	16,3
1969 - 1998	0,00	0,00	1246	91	4,6	-2,5	13,8	-6,6	19,8	6,2	4,2	16,3
1970 - 1999	0,00	0,00	1243	84	4,7	-2,5	13,9	-6,6	19,9	6,2	4,3	16,4
1971 - 2000	0,00	0,00	1263	82	4,8	-2,4	13,8	-6,6	19,8	6,2	4,3	16,2
1972 - 2001	0,00	0,00	1229	78	4,9	-2,2	13,8	-6,3	19,7	6,2	4,3	16
1973 - 2002	0,00	0,00	1225	76	5	-1,9	13,8	-5,9	19,8	6,1	4,3	15,7
1974 - 2003	0,00	0,00	1237	76	5	-2,2	13,9	-6,2	19,9	6,1	4,4	16,1
1975 - 2004	0,00	0,00	1226	78	5,1	-2,2	13,9	-6,2	19,9	6,1	4,4	16,1
1976 - 2005	0,00	0,00	1205	74	5,1	-2	13,9	-6,1	19,9	6	4,4	15,9
1977 - 2006	0,00	0,00	1191	75	5,1	-2,3	13,9	-6,4	19,8	6	4,5	16,2
1978 - 2007	0,00	0,00	1166	73	5,1	-2,1	13,9	-6,3	19,8	6	4,5	16
1979 - 2008	0,00	0,00	1162	72	5,1	-2	13,9	-6,2	19,9	6	4,5	15,9
1980 - 2009	0,00	0,00	1168	70	5,2	-2	14	-6,2	20	5,9	4,5	16
1981 - 2010	0,00	0,00	1171	71	5,1	-2	14	-6,2	20	6	4,5	16
1982 - 2011	0,00	0,00	1166	71	5,2	-2	14	-6,2	20	5,9	4,5	16
1983 - 2012	0,00	0,00	1163	71	5,2	-1,9	14	-6,1	19,9	6	4,5	15,9
1984 - 2013	0,00	0,00	1166	73	5,1	-1,9	14	-6,1	19,9	6	4,5	15,9
1985 - 2014	0,00	0,00	1171	74	5	-1,9	13,8	-6,2	19,7	6	4,5	15,7
1986 - 2015	0,00	0,00	1164	76	5,1	-1,9	14	-6,3	19,8	5,9	4,5	15,9

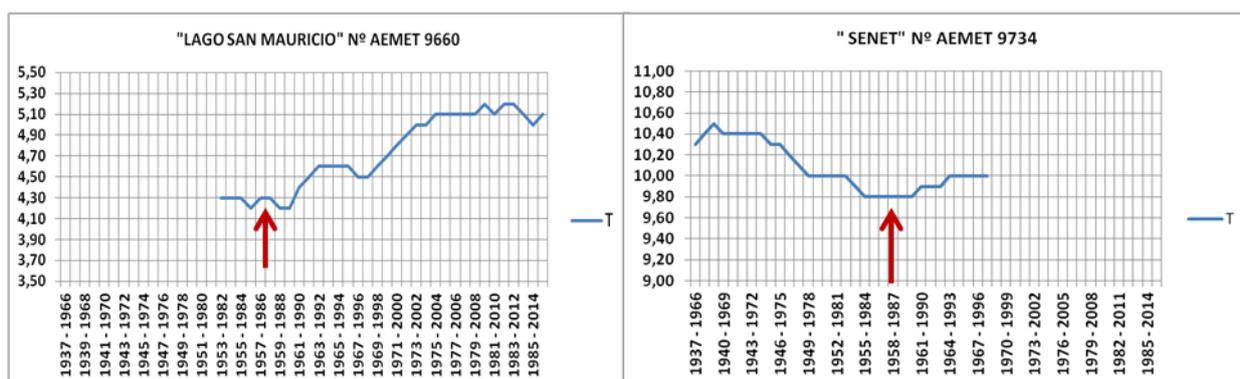


Figura 2: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de la temperatura media anual "T" en las estaciones meteorológicas "Lago San Mauricio" y "Senet"

Los valores medios mínimos de T se producen en el intervalo de observación 1953-1989, a partir del cual se aprecia un incremento hasta el intervalo 1975-2004 para estabilizarse con oscilaciones hasta la actualidad 1986-2015 en valores cercanos a los 5°C. Se desconoce el comportamiento de la estación con anterioridad a 1954 ya que no existen registros meteorológicos pero trasladando el comportamiento de estaciones cercanas con registros

anteriores como es la de Senet (a unos 30 km) se puede apreciar que con anterioridad a 1954 existió un periodo más cálido, en Senet de hasta 0,7 °C más, que vendría al menos desde 1941 hasta 1971 y que fácilmente puede trasladarse a nuestra estación de Lago San Mauricio (Figura 2).

La estabilización detectada en T se produce también en TMC y TMMC (Figura 3) si bien con cierta antelación, desde 1969-1998 TMC y desde 1963-1992 TMMC. Por las mismas razones ya mencionadas es más que posible que con anterioridad al periodo de observación disponible las temperaturas medias máximas hubieran sido mayores a las mínimas observadas entre 1953-1982.

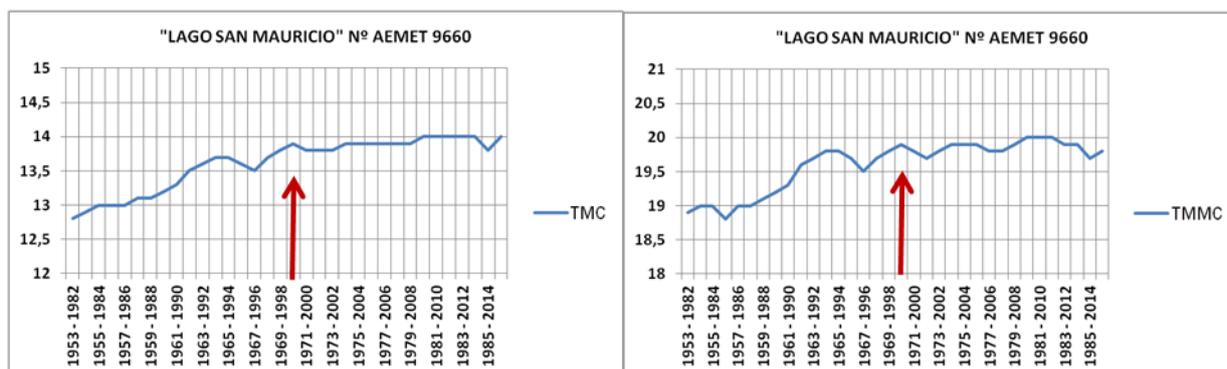


Figura 3: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de las temperaturas medias máximas (temperatura media de las máximas "TMC" y temperatura media de las máximas del mes más frío "TMMC") en la estación meteorológica "Lago San Mauricio"

Dicha estabilización también se detecta en TMF y TMMF (Figura 4) lo que nos lleva a pensar en que se trata de una estabilización general de las temperaturas en la estación estudiada durante los últimos 13 intervalos de años.

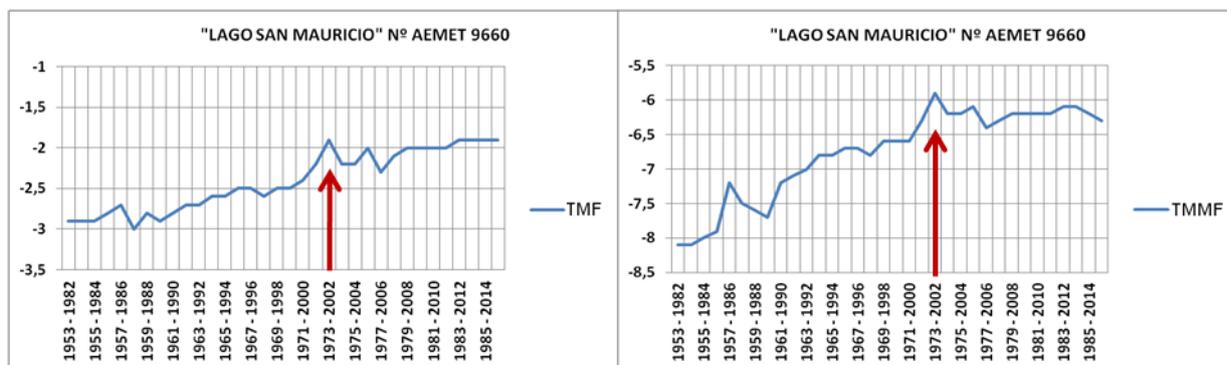


Figura 4: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de los valores las temperaturas medias mínimas (temperatura media de las mínimas "TMF" y temperatura media de las mínimas del mes más frío "TMMF") en la estación meteorológica "Lago San Mauricio"

La evolución de los valores de las medias móviles de las precipitaciones es claramente a la baja en el periodo de observación (Figura 5), si bien, la magnitud de las precipitaciones que recibe la estación y sobre todo las estivales, inciden poco en la definición del fitoclima reinante. Es de destacar no obstante una tendencia a la estabilización en los valores de P en el periodo 1978-2015 coincidente el periodo de estabilización de las temperaturas y el repunte de PE a partir de 1980-2009 que de consolidarse alejaría el fantasma de la sequedad estival.

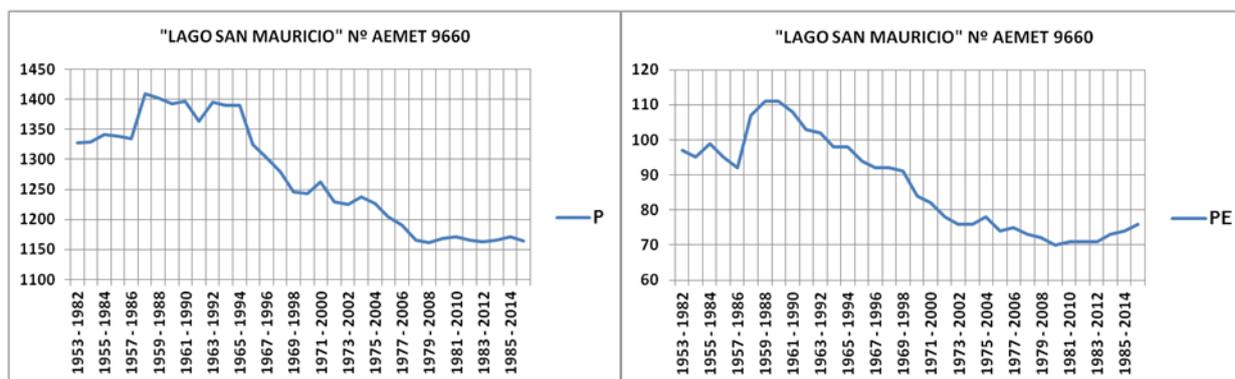


Figura 5: Evolución de los valores de las medias móviles de 30 años de las precipitaciones (precipitación anual "P" y precipitación estival mínima "PE") en la estación meteorológica "Lago San Mauricio"

La entidad de las precipitaciones y la falta de calor hacen que no exista sequedad estival siendo nulos los valores de las medias móviles de la duración (A) e intensidad (K) de la aridez (Tabla 2) durante todo el periodo de observación si bien de mantenerse la tendencia a la baja de las precipitaciones la situación podría cambiar.

La evolución de los factores restantes durante el periodo de observación varía (Tabla 2). Mientras los valores medios de la helada segura tienden ligeramente a la baja (unos 6 días menos entre 1953-1982 y 1986-2015), los valores medios del periodo vegetativo tienden a incrementarse en la misma cantidad (unos 6 días más entre 1953-1982 y 1986-2015). En cuanto a la oscilación térmica, tras un proceso errático con muchas fluctuaciones, los valores al principio y al final del periodo de observación son muy similares con una variación de $0,2^{\circ}\text{C}$.

4.2. Modelo Subtipos

El espectro fitoclimático de evolución temporal de los escalares de adecuación de la estación a los 22 subtipos fitoclimáticos con significación fisionómica se muestra en la figura 6.

El viraje desde el subtipo oroborealoides genuino X(VIII) al oroborealoides subnemoral VIII(VI)₂ se produce principalmente por el incremento de los valores de TMMF que a partir de la media 1964-1993 se sitúan por encima de los -7°C , valor discriminante entre dichos subtipos y en cuyas inmediaciones se mantiene la estación, de ahí que los escalares de adecuación al genuino VIII(VI)₂ se mantengan bajos después de cambio de subtipo y que los escalares de disparidad del subtipo X(VIII) sean muy altos (todos los restantes valores del subtipo están muy centrados en sus ámbitos de existencia a excepción de TMMF que se encuentra muy próximo a su valor límite superior). En términos fisionómicos la estación se mantiene compatible con formaciones aciculiperennifolias oroborealoides, si bien experimenta un cierto acercamiento a formaciones planicaducifolias, como lo delata asimismo el notable acercamiento al subtipo nemoral genuino (VI) que desde posiciones de disparidad negativa se estabiliza con oscilaciones en disparidades muy cercanas a "0" incluso con valores positivos.

Llama la atención que entre 1953-1989 VIII(VI)₂ fuera un subtipo dispar incluso lejano, y la velocidad en la que se acerca hasta convertirse en genuino frente a la relativa estabilidad posterior tanto en el genuino VIII(VI)₂ como en el dispar próximo X(VIII), ambos con escalares de adecuación muy estables.

PERIODO	III(IV)-IV(III)-IV1-IV2	IV3	IV4	IV(VI)1	IV(VII)	IV(VI)2	V(IV)1	V(IV)2	V(IV)3	V(IV)4	V(IV)5	V(V)	VI	VIII(VI)2	X(VIII)	X(IX)1	X(IX)2	VIII(VII)	VIII(VI)1
1953 - 1982	****D	-524,35D	-170,85D	-110,60D	-431,62D	****D	-43,55D	-31,90D	****D	-47,34D	-5,07D	****D	-0,69D	-0,06D	0,67G	-4,40D	-833,72D	-214,38D	-21,64D
1954 - 1983	****D	-516,70D	-163,08D	-103,66D	-406,00D	****D	-40,80D	-29,00D	****D	-47,12D	-5,00D	****D	-0,69D	-0,06D	0,67G	-4,73D	-750,91D	-194,12D	-21,42D
1955 - 1984	****D	-554,49D	-180,33D	-117,48D	-450,25D	****D	-47,44D	-34,77D	****D	-46,35D	-4,88D	****D	-0,75D	-0,01D	0,65G	-4,00D	-921,59D	-235,91D	-22,49D
1956 - 1985	****D	-529,57D	-163,11D	-102,65D	-400,48D	****D	-41,38D	-28,88D	****D	-45,40D	-4,89D	****D	-0,72D	0,05D	0,65G	-3,96D	-750,65D	-194,08D	-22,58D
1957 - 1986	****D	-501,19D	-146,49D	-89,66D	-361,99D	****D	-37,08D	-24,81D	****D	-39,69D	-4,43D	****D	-0,52D	0,34A	0,63G	-4,06D	-638,44D	-166,03D	-20,35D
1958 - 1987	****D	-735,74D	-242,27D	-173,24D	-656,68D	****D	-76,41D	-58,74D	****D	-44,57D	-5,59D	****D	-0,69D	0,23A	0,61G	-4,30D	-1.620,25D	-406,99D	-31,85D
1959 - 1988	****D	-823,05D	-316,77D	-239,00D	-891,58D	****D	-103,33D	-86,25D	****D	-45,62D	-5,58D	****D	-0,69D	0,19D	0,58G	-4,37D	-2.420,13D	-603,27D	-32,38D
1960 - 1989	****D	-808,68D	-318,11D	-239,78D	-892,32D	****D	-102,58D	-86,25D	****D	-46,27D	-5,44D	****D	-0,74D	0,14D	0,58G	-4,66D	-2.419,80D	-603,26D	-31,14D
1961 - 1990	****D	-718,24D	-245,24D	-176,40D	-667,87D	****D	-77,75D	-61,03D	****D	-41,07D	-4,93D	****D	-0,56D	0,32A	0,58G	-4,36D	-1.694,52D	-424,81D	-28,25D
1962 - 1991	****D	-597,14D	-189,88D	-127,70D	-492,67D	****D	-55,48D	-41,08D	****D	-38,66D	-4,23D	****D	-0,48D	0,35A	0,59G	-4,93D	-1.119,16D	-283,45D	-22,07D
1963 - 1992	****D	-632,64D	-181,47D	-121,60D	-474,08D	****D	-55,85D	-39,08D	****D	-37,77D	-4,43D	****D	-0,39D	0,37A	0,58G	-5,42D	-1.066,22D	-270,54D	-25,08D
1964 - 1993	****D	-592,65D	-157,90D	-104,75D	-415,69D	****D	-48,79D	-32,40D	****D	-30,29D	-4,30D	****D	-0,39D	0,41G	0,57A	-5,66D	-874,09D	-223,68D	-23,85D
1965 - 1994	****D	-592,65D	-157,90D	-104,75D	-415,69D	****D	-48,79D	-32,40D	****D	-30,29D	-4,30D	****D	-0,39D	0,41G	0,57A	-5,66D	-874,09D	-223,68D	-23,85D
1966 - 1995	****D	-472,55D	-137,44D	-89,13D	-365,84D	****D	-38,50D	-26,65D	****D	-26,59D	-3,44D	****D	-0,30D	0,42G	0,58A	-5,50D	-709,49D	-165,51D	-14,73D
1967 - 1996	****D	-440,60D	-133,48D	-84,60D	-347,63D	****D	-34,80D	-24,33D	****D	-27,03D	-3,42D	****D	-0,38D	0,43G	0,58A	-4,93D	-636,97D	-165,51D	-14,73D
1968 - 1997	****D	-441,65D	-135,85D	-85,20D	-346,85D	****D	-34,56D	-24,24D	****D	-28,76D	-3,26D	****D	-0,41D	0,42G	0,58A	-5,56D	-636,33D	-165,35D	-13,73D
1969 - 1998	****D	-395,63D	-129,62D	-81,08D	-332,79D	****D	-31,55D	-22,96D	****D	-25,74D	-2,82D	****D	-0,36D	0,43G	0,57D	-6,04D	-601,92D	-156,82D	-10,59D
1981 - 2010	****D	-472,55D	-137,44D	-89,13D	-365,84D	****D	-38,50D	-26,65D	****D	-26,59D	-3,44D	****D	-0,30D	0,42G	0,58A	-5,50D	-709,49D	-165,51D	-14,73D
1982 - 2011	****D	-242,91D	-70,36D	-33,47D	-168,04D	****D	-11,50D	-6,19D	****D	-19,19D	-1,58D	****D	0,03D	0,43G	0,52D	-7,34D	-122,40D	-35,47D	-3,57D
1983 - 2012	****D	-243,01D	-72,07D	-34,13D	-167,69D	****D	-11,42D	-6,24D	****D	-19,24D	-1,60D	****D	-0,01D	0,43G	0,51D	-7,23D	-122,63D	-35,50D	-3,50D
1984 - 2013	****D	-248,31D	-74,17D	-36,02D	-175,26D	****D	-12,21D	-6,93D	****D	-19,43D	-1,67D	****D	-0,02D	0,43G	0,51D	-7,12D	-142,59D	-40,65D	-3,78D
1985 - 2014	****D	-250,81D	-75,80D	-37,55D	-182,37D	****D	-12,80D	-7,41D	****D	-20,12D	-1,86D	****D	-0,03D	0,44G	0,53D	-7,12D	-153,67D	-43,51D	-4,31D
1986 - 2015	****D	-248,73D	-75,59D	-38,07D	-186,07D	****D	-13,27D	-8,06D	****D	-19,44D	-1,64D	****D	0,03D	0,42G	0,53D	-7,24D	-176,89D	-49,51D	-3,70D
1970 - 1999	****D	-366,47D	-110,10D	-63,67D	-268,36D	****D	-24,41D	-15,92D	****D	-25,14D	-2,64D	****D	-0,33D	0,43G	0,57D	-5,74D	-398,77D	-106,40D	-9,64D
1971 - 2000	****D	-382,11D	-105,05D	-59,43D	-253,26D	****D	-23,78D	-14,32D	****D	-25,16D	-2,79D	****D	-0,28D	0,44G	0,58D	-6,27D	-351,86D	-94,62D	-10,49D
1972 - 2001	****D	-326,28D	-90,42D	-47,84D	-211,86D	****D	-18,00D	-10,23D	****D	-22,49D	-2,43D	****D	-0,22D	0,44G	0,55D	-6,46D	-232,18D	-63,83D	-7,74D
1973 - 2002	****D	-308,84D	-79,94D	-40,48D	-189,92D	****D	-15,81D	-8,24D	****D	-20,41D	-2,22D	****D	-0,08D	0,46G	0,49D	-6,86D	-177,64D	-49,43D	-6,80D
1974 - 2003	****D	-322,74D	-81,84D	-41,38D	-190,49D	****D	-16,44D	-8,25D	****D	-21,45D	-2,29D	****D	-0,15D	0,44G	0,52D	-6,31D	-176,94D	-49,44D	-7,67D
1975 - 2004	****D	-318,42D	-87,08D	-45,91D	-206,92D	****D	-17,74D	-10,05D	****D	-21,19D	-2,15D	****D	-0,12D	0,44G	0,53D	-6,39D	-232,01D	-63,79D	-6,86D
1976 - 2005	****D	-283,63D	-75,71D	-37,33D	-179,83D	****D	-14,09D	-7,33D	****D	-19,95D	-1,93D	****D	-0,04D	0,44G	0,51D	-6,65D	-153,50D	-43,41D	-5,46D
1977 - 2006	****D	-274,62D	-78,98D	-39,55D	-186,17D	****D	-14,03D	-7,80D	****D	-21,05D	-1,92D	****D	-0,10D	0,42G	0,54D	-6,58D	-164,71D	-46,43D	-5,21D
1978 - 2007	****D	-249,74D	-75,58D	-36,86D	-177,28D	****D	-12,29D	-7,00D	****D	-20,26D	-1,74D	****D	-0,06D	0,42G	0,53D	-6,68D	-142,47D	-40,70D	-4,01D
1979 - 2008	****D	-244,53D	-73,87D	-35,57D	-173,08D	****D	-11,77D	-6,62D	****D	-19,83D	-1,69D	****D	-0,04D	0,43G	0,52D	-6,75D	-132,23D	-38,02D	-3,74D
1980 - 2009	****D	-243,31D	-69,46D	-32,69D	-165,12D	****D	-11,26D	-5,89D	****D	-19,20D	-1,59D	****D	0,03D	0,43G	0,52D	-7,34D	-113,25D	-33,10D	-3,64D

Figura 6: Evolución de los escalares de adecuación fitoclimática del modelo “Subtipos”. En verde las posiciones Genuinas (G), en naranja las Análogas (A), en azul las Dispareas positivas (D) y en blanco las Dispareas negativas (D).

4.3. Modelo Especies

El espectro fitoclimático de “Modelo Especies” (Figura 7) presenta los índices de idoneidad de la estación “Lago San Mauricio” respecto de las 18 formaciones forestales definidas en el sistema. Mientras que hasta la media 1969-1998 *Pinus uncinata* es la única especie compatible, a partir de esa fecha y hasta la actualidad, el pino negro comparte genuinidad con *Abies alba*. No obstante la evolución de sus escalares de idoneidad difiere, pues mientras los de *Pinus uncinata* experimentan una lenta evolución a la baja, los de *Abies alba* lo hacen al alza de una manera muy decidida desde posiciones de disparidad lejana hasta posiciones de genuinidad de alta idoneidad estabilizando sus escalares a partir de 1973-2002 coincidiendo con la estabilización de los índices de idoneidad de *Pinus uncinata* y de las temperaturas. Los índices de idoneidad no presentan la misma escala, por lo que no son comparables entre sí en términos relativos. Por ello el hecho de que el índice de *Pinus uncinata* en el “periodo de estabilidad” sea inferior al de *Abies alba* (Figura 8) no significa que éstas sean formaciones dominantes, como no sucede en la realidad, lo que implica es que sus capacidades competitivas se están reajustando ganando terreno fitoclimático *Abies alba* frente a *Pinus uncinata* actualmente especie principal dominante en el paisaje, es decir, los pinares de pino negro podrían empezar a enriquecerse de forma natural en su área de contacto con abeto modificando la fisionomía del paisaje así como la estructura, composición y competencia interespecífica de las actuales formaciones. Los cambios reales en la composición del dosel pueden diferirse notablemente en el tiempo debido a la fuerte inercia de las cubiertas arbóreas.

Periodo	Pun	Psy	Aal	Fsy	Qpe	Qro	Apl	Pni	Qhu	Qpy	Qfa	Jth	Qca	Qsu	Qil	Ppi	Pha	Ppr
1953 - 1982	0,59G	-1,58D	-1,24D	-3,87D	-31,35D	-125,00D	***D	-66,18D	-31,61D	-12,17D	-31,49D	-151,06D	-9,192,24D	-622,21D	-3,36D	-464,83D	-199,56D	-74,20D
1954 - 1983	0,59G	-1,52D	-1,16D	-3,75D	-30,76D	-123,03D	***D	-63,62D	-30,77D	-11,40D	-30,09D	-139,16D	-9,115,84D	-597,23D	-3,27D	-445,69D	-196,10D	-72,20D
1955 - 1984	0,59G	-1,44D	-0,99D	-3,74D	-30,17D	-131,15D	***D	-64,47D	-30,76D	-12,82D	-31,59D	-162,56D	-9,082,02D	-620,10D	-3,42D	-478,10D	-208,10D	-77,56D
1956 - 1985	0,60G	-1,33D	-0,77D	-3,78D	-28,88D	-132,08D	***D	-64,76D	-30,90D	-11,20D	-30,31D	-138,31D	-9,119,69D	-633,37D	-3,27D	-470,89D	-210,30D	-75,48D
1957 - 1986	0,53G	-0,28D	0,34D	-2,32D	-16,23D	-111,43D	-7,049,20D	-46,96D	-21,98D	-6,86D	-20,59D	-92,86D	-7,446,68D	-607,47D	-3,89D	-376,04D	-163,01D	-61,70D
1958 - 1987	0,53G	-0,69D	-0,32D	-2,86D	-22,45D	-113,32D	-7,406,44D	-56,89D	-23,90D	-15,72D	-29,77D	-222,20D	-7,544,07D	-677,46D	-2,71D	-498,76D	-179,13D	-78,76D
1959 - 1988	0,54G	-0,90D	-0,77D	-3,11D	-23,72D	-118,55D	-7,746,83D	-64,59D	-25,25D	-20,98D	-35,06D	-306,48D	-7,631,83D	-759,53D	-3,33D	-609,88D	-195,33D	-88,86D
1960 - 1989	0,55G	-1,09D	-0,99D	-3,38D	-26,36D	-121,37D	-8,458,97D	-66,62D	-26,58D	-21,97D	-36,77D	-316,38D	-7,891,71D	-732,64D	-3,58D	-621,14D	-200,93D	-90,91D
1961 - 1990	0,53G	-0,44D	-0,13D	-2,38D	-18,89D	-108,96D	-6,955,07D	-52,62D	-21,13D	-15,41D	-27,81D	-224,45D	-7,318,48D	-681,35D	-2,53D	-500,87D	-174,86D	-77,70D
1962 - 1991	0,51G	-0,16D	0,26D	-1,66D	-14,47D	-95,70D	-6,301,41D	-39,44D	-17,28D	-9,95D	-20,54D	-145,92D	-7,031,85D	-567,57D	-1,92D	-392,83D	-150,98D	-63,26D
1963 - 1992	0,51G	-0,08D	0,36D	-1,44D	-13,80D	-88,62D	-6,238,16D	-37,46D	-16,16D	-9,38D	-19,48D	-139,48D	-6,921,43D	-531,84D	-1,77D	-373,97D	-140,82D	-59,06D
1964 - 1993	0,51G	0,00A	0,49A	-1,36D	-12,35D	-94,96D	-6,124,18D	-34,90D	-15,69D	-7,37D	-17,39D	-110,55D	-6,899,43D	-586,80D	-1,64D	-379,31D	-144,21D	-58,68D
1965 - 1994	0,51G	0,00A	0,49A	-1,36D	-12,35D	-94,96D	-6,124,18D	-34,90D	-15,69D	-7,37D	-17,39D	-110,55D	-6,899,43D	-586,80D	-1,64D	-379,31D	-144,21D	-58,68D
1966 - 1995	0,50G	0,14A	0,58A	-1,06D	-9,52D	-80,90D	-5,988,78D	-30,31D	-13,78D	-5,47D	-14,30D	-84,78D	-6,649,63D	-493,56D	-1,34D	-317,47D	-121,23D	-50,43D
1967 - 1996	0,50G	0,08A	0,54A	-1,24D	-9,89D	-87,56D	-6,082,48D	-31,74D	-14,95D	-5,12D	-14,53D	-77,52D	-6,653,54D	-529,53D	-1,43D	-319,52D	-128,27D	-52,90D
1968 - 1997	0,51G	0,01A	0,54A	-1,45D	-12,19D	-94,97D	-6,583,73D	-33,63D	-16,11D	-5,86D	-15,82D	-84,28D	-6,792,21D	-567,60D	-1,56D	-340,61D	-141,52D	-54,94D
1969 - 1998	0,50G	0,13A	0,56A	-1,09D	-9,21D	-85,62D	-5,841,31D	-28,95D	-13,83D	-4,81D	-13,41D	-73,27D	-6,527,02D	-532,06D	-1,33D	-307,79D	-124,76D	-51,74D
1970 - 1999	0,49G	0,18A	0,59G	-0,94D	-8,28D	-83,86D	-5,937,24D	-26,52D	-12,93D	-3,52D	-11,76D	-49,30D	-6,581,87D	-499,82D	-1,18D	-289,53D	-122,11D	-48,26D
1971 - 2000	0,49G	0,22A	0,63G	-0,79D	-7,53D	-83,65D	-5,863,54D	-25,92D	-12,62D	-3,13D	-11,30D	-43,73D	-6,528,62D	-517,96D	-1,14D	-294,63D	-122,08D	-47,48D
1972 - 2001	0,48G	0,29A	0,67G	-0,59D	-6,08D	-82,11D	-5,623,48D	-24,13D	-12,00D	-2,34D	-10,13D	-33,17D	-6,554,05D	-463,58D	-1,04D	-263,75D	-120,07D	-45,51D
1973 - 2002	0,47G	0,40A	0,70G	-0,31D	-4,24D	-73,21D	-5,222,03D	-21,39D	-10,55D	-1,63D	-8,62D	-26,60D	-6,339,93D	-431,37D	-0,86D	-233,88D	-107,68D	-40,48D
1974 - 2003	0,48G	0,35A	0,71G	-0,45D	-5,54D	-75,86D	-5,596,26D	-22,25D	-10,81D	-2,02D	-9,23D	-28,56D	-6,398,69D	-425,68D	-0,91D	-238,29D	-112,25D	-41,13D
1975 - 2004	0,48G	0,36A	0,71G	-0,38D	-5,42D	-75,32D	-5,569,37D	-21,87D	-10,59D	-2,13D	-9,28D	-31,70D	-6,384,27D	-439,92D	-0,91D	-248,20D	-112,31D	-41,38D
1976 - 2005	0,47G	0,42A	0,73G	-0,21D	-4,11D	-66,54D	-5,282,82D	-19,97D	-9,63D	-1,49D	-8,05D	-23,73D	-6,283,59D	-383,54D	-0,77D	-210,18D	-99,61D	-36,39D
1977 - 2006	0,48G	0,35A	0,70G	-0,38D	-5,66D	-69,66D	-5,707,11D	-21,38D	-10,27D	-1,99D	-8,91D	-27,05D	-6,397,81D	-403,97D	-0,84D	-221,25D	-104,27D	-37,62D
1978 - 2007	0,48G	0,39A	0,72G	-0,29D	-4,86D	-70,51D	-5,577,29D	-20,84D	-10,05D	-1,69D	-8,51D	-24,26D	-6,455,87D	-400,02D	-0,82D	-223,47D	-104,60D	-37,02D
1979 - 2008	0,47G	0,41A	0,72G	-0,23D	-4,07D	-66,89D	-5,336,11D	-19,72D	-9,51D	-1,44D	-7,88D	-21,62D	-6,348,66D	-416,14D	-0,76D	-211,39D	-98,85D	-35,89D
1980 - 2009	0,46G	0,45A	0,73G	-0,10D	-3,71D	-61,38D	-5,291,00D	-18,00D	-8,70D	-1,20D	-7,16D	-18,35D	-6,236,17D	-364,14D	-0,67D	-188,05D	-90,76D	-32,11D
1981 - 2010	0,46G	0,41A	0,70G	-0,22D	-3,99D	-65,85D	-5,323,19D	-19,01D	-9,23D	-1,34D	-7,57D	-19,75D	-6,299,99D	-391,40D	-0,75D	-202,34D	-97,39D	-34,98D
1982 - 2011	0,46G	0,44A	0,73G	-0,11D	-3,74D	-60,92D	-5,291,73D	-18,05D	-8,68D	-1,23D	-7,18D	-19,21D	-6,238,41D	-368,50D	-0,67D	-190,85D	-90,40D	-32,36D
1983 - 2012	0,46G	0,44A	0,72G	-0,13D	-3,56D	-65,83D	-5,228,78D	-18,68D	-9,06D	-1,23D	-7,45D	-19,49D	-6,300,36D	-400,35D	-0,73D	-203,89D	-98,34D	-34,99D
1984 - 2013	0,47G	0,43A	0,73G	-0,19D	-3,82D	-67,65D	-5,257,20D	-19,42D	-9,32D	-1,39D	-7,78D	-22,31D	-6,290,73D	-395,59D	-0,75D	-215,23D	-98,98D	-36,17D
1985 - 2014	0,47G	0,40A	0,70G	-0,29D	-4,15D	-67,24D	-5,317,57D	-20,82D	-9,95D	-1,51D	-8,31D	-23,60D	-6,374,48D	-395,56D	-0,80D	-212,58D	-100,54D	-36,85D
1986 - 2015	0,47G	0,44A	0,73G	-0,16D	-3,96D	-62,94D	-5,303,03D	-19,31D	-9,10D	-1,50D	-7,85D	-25,32D	-6,300,92D	-366,85D	-0,72D	-204,71D	-92,77D	-34,40D

Figura 7: Evolución de los índices de idoneidad fitoclimática de las principales especies forestales (18) del sistema respecto a la estación meteorológica “Lago San Mauricio”. Abreviaturas: Pun: Pinus uncinata; Psy: Pinus sylvestris; Aal: Abies alba; Fsy: Fagus sylvatica; Qpe: Quercus petraea; Qro: Quercus robur; Apl: 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 y Ppr: Pinus pinaster. En verde las posiciones Genuinas (G), en naranja las Análogas A y en azul las Disparidades positivas (D) y en blanco las Disparidades negativas (D).

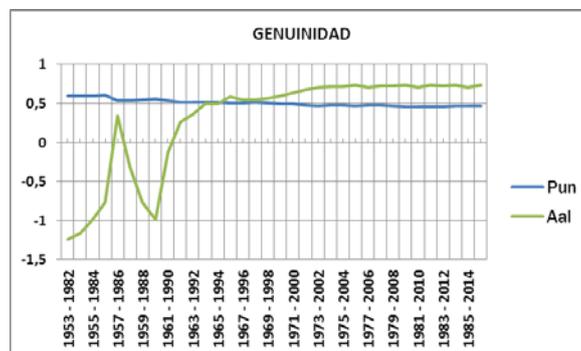


Figura 8: Evolución de los índices de idoneidad fitoclimática calculados a partir de las medias móviles de 30 años de los 12 factores del sistema respecto a la estación meteorológica “Lago San Mauricio” de las 2 especies forestales en situación de genuinidad, Pinus uncinata y Abies Alba.

Como ya anticipaban los resultados del “Modelo Subtipos”, la aplicación del “Modelos Especies” también pone de manifiesto otras cuestiones (Figura 9). La tercera conífera de carácter eurosiberiano, *Pinus sylvestris*, también experimenta un acelerado acercamiento a la estación que la sitúa en una posición de analogía de alto escalador o lo que es lo mismo en una situación favorable. También detecta que la estación empieza a aproximar sus características fitoclimáticas a las propias de formaciones planicaducifolias. Así *Fagus sylvatica* alcanzan al final del periodo de observación (1971-2015) la posición de disparidad con valores cercanos a “0” tras un lento y progresivo acercamiento, lo mismo que ocurre con *Quercus ilex*. Más llamativo es el comportamiento de *Quercus petraea* y sobre todo *Quercus pyrenaica* que partiendo de

posiciones dispares muy lejanas alcanzan posiciones mucho más próximas y en el caso de la segunda con valores cercanos a “0” y parejos a los de *Fagus sylvatica* y *Quercus ilex*.

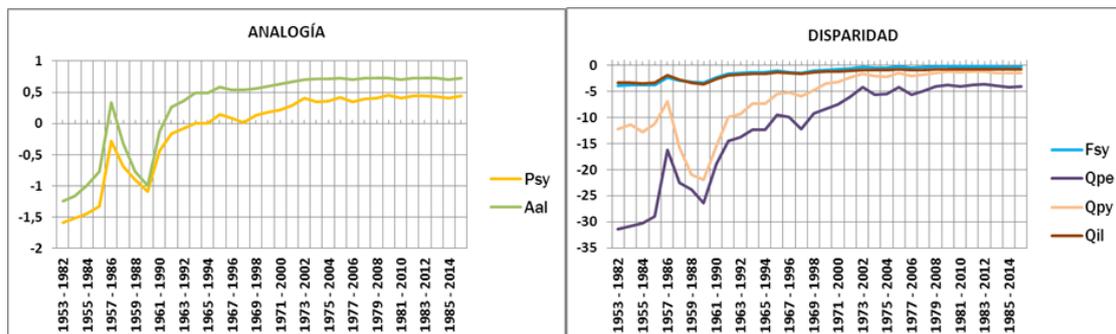


Figura 9: Evolución de los índices de idoneidad fitoclimática calculados a partir de las medias móviles de 30 años de los 12 factores del sistema de la estación meteorológica “Lago San Mauricio” respecto de dos especies de coníferas, Aal: *Abies alba* y Psy: *Pinus silvestris* y las especies de frondosa más cercanas a la estación, *Fagus sylvatica*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus petraea*, y *Quercus ilex*

El índice de entropía o versatilidad fitoclimática (Figura 10), tras un periodo de cierta estabilidad e incluso descenso (1953-1991) en el que la única especie compatible era *Pinus uncinata* y otro de rápido crecimiento que se corresponde con el periodo de ajustes en la compatibilidad de la estación con otras formaciones aciculilignosas (*Abies alba* y *Pinus sylvestris*) se produce otro de estabilidad que llega hasta nuestros días (1973-2015).

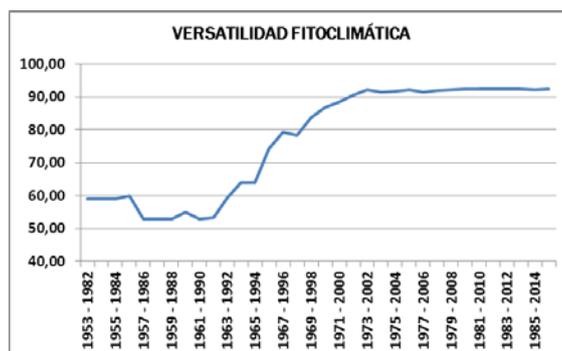


Figura 10: Evolución del índice de entropía o versatilidad fitoclimática, considerando los índices de idoneidad positivos tanto en posiciones de genuinidad como de analogía o disparidad.

5. Discusión y Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran un aumento de las temperaturas con variaciones hasta 1973-2002 con una situación de estabilidad con ligeras oscilaciones desde entonces, manteniéndose la situación de ausencia total de sequedad estival. Esta tendencia se evidencia con la aplicación de los Modelos “Subtipos” y “Especies”. Esta estabilidad climática de la estación a partir de 1973-2002 contrasta con el incremento general de las temperaturas a nivel global y con el incremento acelerado de las temperaturas que se detecta en otras estaciones y otras zonas de la geografía española y mundial. Las variaciones de las temperaturas provocadas por el cambio climático no se producen de la misma manera ni con la misma intensidad en todos los lugares por lo que se deben evitar generalizaciones al respecto.

El “Modelo Subtipos” revela que si bien la fisionomía dominante seguirá siendo oroborealoide aciculiperennifolia y por tanto compatible con las formaciones de *Pinus uncinata*

actuales, el cambio desde posiciones fitoclimáticas oroborealoides genuinas a subnemorales, con un paulatino acercamiento a fisionomías planicaducifolias, que alcanzan la disparidad cercana, se mantiene estable en la actualidad. Este resultado, también el de estabilidad actual, es corroborado por el “Modelo Especies” que evidencia la compatibilidad de la formación de *Pinus uncinata* si bien perdiendo capacidad competitiva frente a *Abies alba* también de carácter eurosiberiano que la estaría ganando. *Pinus sylvestris* también se acerca a la estación si bien se mantiene en situación de analogía favorecida tal vez por la falta absoluta de aridez estival.

Las formaciones planicaducifolias, y en particular *Fagus sylvatica* se mantiene en la disparidad cercana probablemente debido a la brevedad del periodo vegetativo PV (4,5 meses en 1977-2015) que con un leve repunte en los últimos años, no parece ser suficiente para una estrategia planicaducifolia estricta. Un incremento de dicho periodo favorecería a esta especie.

El acercamiento acelerado a formaciones distintas a las dominadas por el pino negro, como son las dominadas por abeto e incluso pino silvestre, estabilizada en el periodo 1973-2015, ha provocado también un aumento de la entropía o versatilidad fitoclimática de la estación. Los pinares de pino negro de alta montaña de Los Pirineos 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 de otras especies (alguna ya plenamente compatible) lo que modificaría también las relaciones de competencia interespecíficas en estas formaciones. Este proceso conforme al cual varias formaciones de coníferas de montaña se verían enriquecidas con el aporte migratorio de especies procedentes de cotas inferiores ha sido ampliamente señalado por varios autores (i.e. THULLER et al., 2006; HOTMEIER & BROLL, 2007; GARCÍA-LÓPEZ & ALLUÉ, 2013).

El favorecer la presencia de *Abies Alba* o incluso su introducción mediante plantaciones de enriquecimiento podría ser una práctica de gestión adaptativa que favorecería la estabilidad y viabilidad de las masas futuras en el caso de aceleración del cambio climático, así como la modificación de los instrumentos de planificación forestal en cuanto a los objetivos de gestión y el tratamiento de las especies acompañantes, con enriquecimiento del dosel arbóreo.

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. 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).

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: Diagnóstico, idoneidad y dinámica de fitoclimas. Actas IRATI'97. 1er Congreso Forestal Hispano-Luso. I: 31-40. Pamplona.

BATLLORI, E.; CAMARERO, J.J.; NINOT, J.M. & GUTIÉRREZ, E., 2009. Seedling recruitment, survival and facilitation in alpine *Pinus uncinata* tree line ecotones. Implications and potential responses to climate warming global. Ecology and Biogeography, Global Ecol. Biogeogr., 18: 460-472

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., ETTERTON, 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, 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.; 2013. Phytoclimatic dynamics of Mediterranean Forests under climate change. A case study in Southern European *Pinus sylvestris* L. stand. *American Journal of Plant Sciences*. Volume 4, Number 3A (Special issue on The future of Forests. March 2013), 655-662.

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.

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.