

APLICACIONES DE LA FITOCLIMATOLOGÍA EN SITUACIONES DE CONTINUUM DIGITAL

J. M. García López & C. Allué Camacho

Unidad de Ordenación y Mejora del Medio Natural. Servicio de Medio Ambiente.
C/ Juan de Padilla s/n. 09071 BURGOS. E-mail: Javier-Maria.Garcia@bu.jcyl.es

1. PRELIMINARES

El auge en los últimos tiempos de los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG) no es sino el fiel reflejo de la creciente necesidad, por parte de muy variados sectores implicados en la gestión del Medio Natural, de contar con cuantiosa información digital susceptible de integrarse en sistemas informáticos capaces de organizarla y explotarla de forma racional, en especial mediante confrontación comparativa con otras capas de información. La fitoclimatología no escapa a estas nuevas tendencias. En el caso del sistema fitoclimático de Allué-Andrade (1990,1997), que será objeto de la presente ponencia invitada, podemos considerar que la exploración de sus posibilidades en relación con los SIG es un campo que ofrece muy interesantes posibilidades de futuro.

Intentaremos trazar un resumen del estado actual de la cuestión, de las investigaciones en marcha y de los caminos de desarrollo que se abren para el fitoclimatólogo, con especial referencia a la nueva herramienta informática FITOCLIMOAL'2000 (GARCÍA LÓPEZ; LÓPEZ MORENO & ALLUÉ CAMACHO, 2000), reciente y específicamen-

te diseñada para el tratamiento masivo de datos fitoclimáticos con vistas a su integración en sistemas SIG para análisis territoriales en condiciones de continuum digital. Haremos especial hincapié, al final del trabajo, en sus aplicaciones al estudio de la dinámica fitoclimática.

2. INTRODUCCIÓN

El actual sistema fitoclimático de Allué-Andrade se desarrolló a finales de los años ochenta con muy escaso apoyo informático.

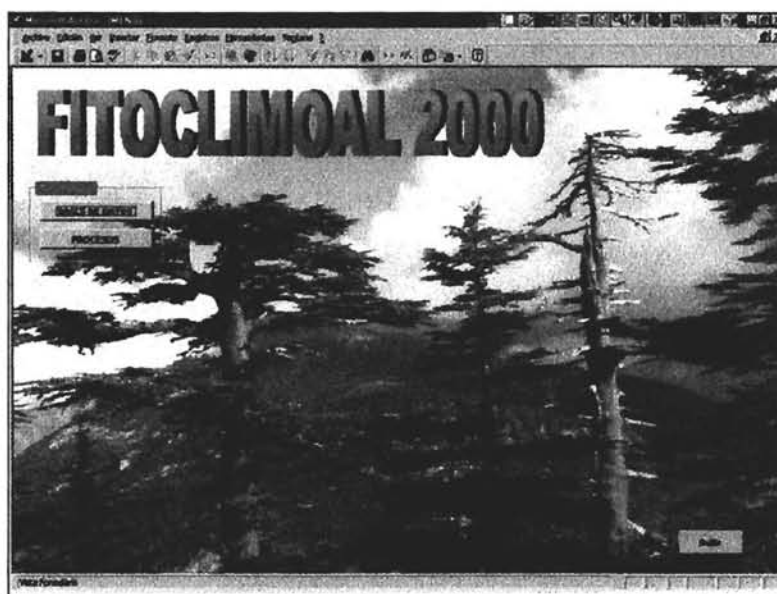


Figura 1. Pantalla de presentación del programa FITOCLIMOAL'2000

El sistema no sólo se construyó utilizando herramientas discretas, esto es, estaciones termopluviométricas puntuales y reales, sino que, sobretodo, se construyó en aquella época pensando principalmente en aplicaciones de tipo puntual. Bien es cierto que el autor, en la versión del sistema publicado en 1990 quiso dar una primera visión en continuum del mismo, incluyendo unos mapas fitoclimáticos. Estos mapas, fatalmente destinados a ser tomados demasiado en serio por el lector, en palabras del propio autor, tampoco se construyeron con una vocación de utilización en condiciones de continuum, y mucho menos, por su forma de elaboración (escala, formato, etc..) para ser integrados en un SIG. Los recintos se establecieron mediante un laborioso proceso de superposición manual de los mapas de isolíneas mensuales de precipitación y temperaturas de FONT-TULLOT (1983), seguidos de interpolaciones también manuales.

Este panorama deja bien claro el enorme esfuerzo, el tesón y el mérito de construcción del modelo, y deja también algunas claras parcelas destinadas a futuras mejoras en relación con los SIG. La utilización de un determinado número de estaciones termopluviométricas de la red oficial del Instituto Nacional de Meteorología, si bien fue el mejor método para el establecimiento de los mínimos indispensables del sistema, al ser registros reales y por no ser muchas, lo que permitió una cuidosa y muy fiable determinación de las correspondencias fitológicas, se detectaban ya algunas mejoras necesarias:

Determinación de ámbitos fitoclimáticos:

La inexistencia o clara carencia de estaciones termopluviométricas en zonas de montaña supuso que no pudiesen llegar a construirse los ámbitos fitoclimáticos de ciertos subtipos situados a elevadas altitudes, como el mediterráneo subestepario IV(VII) de las altas cordilleras béticas, o los articoides culminales X(IX)₁ y X(IX)₂. En el caso del primer subtipo, se optó por unirlo al cercano subtipo IV(VI)₁ y hacerlo figurar en la matriz, mientras que en el caso de los otros dos se optó directamente por considerarlos

sólo en fase cualitativa (monotética) y excluirlos por tanto de la matriz.

Amplitud de ámbitos fitoclimáticos:

Por idénticas razones que en el caso anterior, los ámbitos fitoclimáticos de todos los subtipos son, en la versión actual del sistema, menos amplios que en la realidad. Ello se agrava en los subtipos más ligados a la montaña, como el VIII(VI). En general, la amplitud actual depende del número de estaciones utilizado en cada caso y de la amplitud de su distribución geográfica. Por ello, los ámbitos actuales no contemplan todas las posibles situaciones o combinaciones factoriales presentes en el territorio.

Catálogo de subtipos fitoclimáticos:

La inexistencia de estaciones en la alta montaña meridional peninsular, principalmente en las cordilleras béticas, impidió quizá una posible consideración, al igual que recientemente ha quedado establecido para el mediterráneo oriental (GARCÍA-LÓPEZ, 1999 & 2000a) de algún subtipo boreomediterráneo VIII(IV)_i, correspondiente, en condiciones zonales a formaciones de coníferas francamente más xéricas que las correspondientes al borealoide subnemoral (más de 1,25 meses de aridez en sentido Gaussen) que entren en contacto con formaciones esclerófilas o la fracción marcescente más seca. En el mediterráneo oriental, en Turquía, Siria o Líbano, estos subtipos se corresponden en sus porciones más húmedas con titulares seriales tales como *Cedrus libani* o *Abies cilicica*, y en las más secas por pinares de *Pinus pallasiana*, vicariante al menos parcial de nuestro *Pinus nigra*.

En concreto, el climodiagrama Walter-Lieth de un cedral o de un abetal mediterráneo es bastante característico: Fuertes acumulaciones equinociales de agua, TMF inferior a 2 grados y con frecuencia negativa, aridez superior a 2 meses. Este climodiagrama existe únicamente a nivel planetario en escasos macizos montañosos costeros de suficiente altitud en ambiente mediterráneo y con

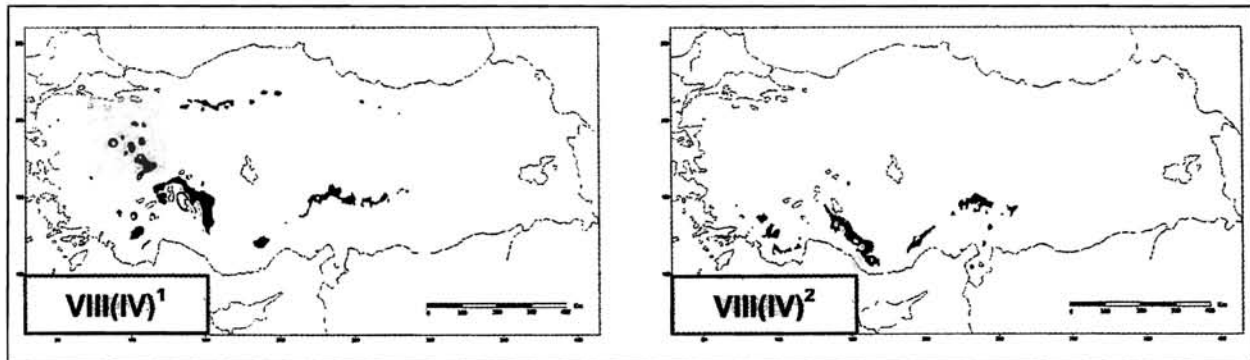


Figura 2. Situación en Turquía de los subtipos boreomediterráneos VIII(IV)¹ (*Pinus pallasiana*) y VIII(IV)² (*Cedrus libani* y *Abies cilicica*) según GARCÍA-LÓPEZ (1999)

fuertes precipitaciones equinociales normalmente procedentes de situaciones a barlovento de tiempos marinos.

En la Península, los fortísimos procesos de degradación forestal han motivado la casi desaparición de gran parte de las antiguas formaciones de *Pinus nigra* de los altos macizos del sur, con más de dos meses de aridez e incluso formaciones secas de *Pinus sylvestris* por debajo de esta aridez. Recientemente, ALEJANO et al. (1996) han pasado revista a los restos de este piso de coníferas presente todavía en las cumbres de algunos macizos béticos. Las únicas zonas peninsulares en donde coexistiría la trilogía citada de frío invernal, sequía estival pronunciada y fuertes precipitaciones se encontrarían en los macizos de Ronda (Málaga y Cádiz), en donde persisten restos de abetales de *Abies pinsapo*. Asimismo, la evidencia, constatada en otras zonas del mediterráneo (la estación de Truckee-Tahoe es un ejemplo de ello) de existencia de formaciones de coníferas de montaña en condiciones con TMMF < -7°C aconseja en el futuro, si así se confirmase en estudios de continuum en estas zonas normalmente desprovistas de estaciones, iniciar la discriminación tangencial con los subtipos articoideos basándose en TMC > 10-12°C. El inicio de estudios fitoclimáticos en continuum digital, en estas zonas desprovistas de estaciones meteorológicas permitirán quizá plantearse una futura definición de algún subtipo boreomediterráneo.

Significado fitológico de subtipos:

Mención especial requiere la profundización en el significado ecofisionómico del escaso y casi enigmático IV(VII) peninsular. De los estudios en continuum llevados a cabo en la meseta central anatólica turca se pueden extraer ya algunas conclusiones, entre ellas que, salvando los fortísimos procesos de degradación antrópica motivada por su utilización como tierras de pan llevar, su vocación sería parcialmente arbolada, en particular formaciones claras de *Pinus pallasiana* sobre matorales espinosos almohadillados, análogos a los existentes en el IV(VII) español (*Erinacea*, *Astragalus*, *Bupleurum* etc...)

3. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

3.1. Estimación de datos (Modelo Digital Termopluviométrico)

La obtención de situaciones de continuum en el sistema fitoclimático procede de la estimación territorial de datos. En la actualidad podemos citar dos métodos aplicables al sistema Allué-Andrade:

Estimación termopluviométrica a partir de digitación de isolíneas:

Este método fue ensayado en Turquía por GARCÍA-LÓPEZ (1999) como forma de afrontar el problema de la baja densidad de esta-

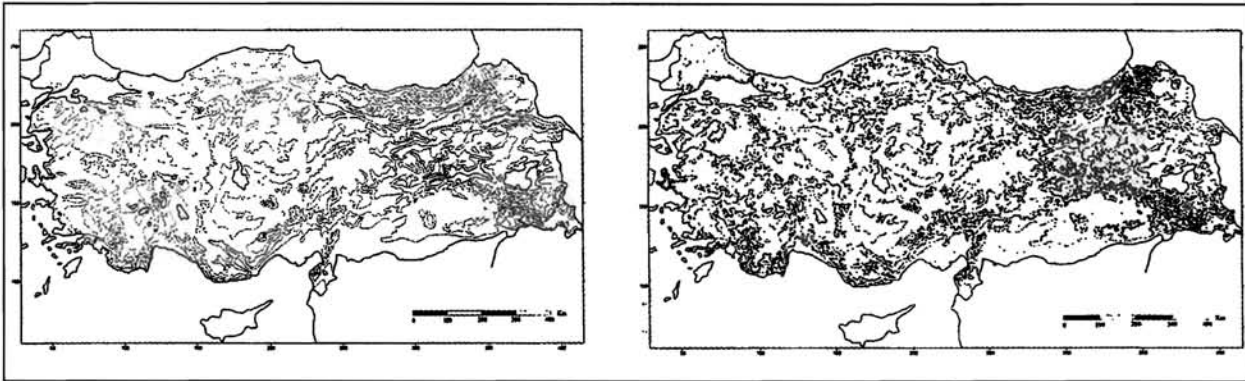


Figura 3. Proceso de digitalización de isolíneas previo a interpolación. Ejemplo de Temperatura media del mes de enero en Turquía

ciones meteorológicas en este país (375 estaciones para vez y media la superficie de España), que incluso imposibilitaba el establecimiento de modelos de regresión altitudinales. El método consiste en la digitalización de isolíneas mensuales de precipitación y de temperatura. Cada imput de digitalización manual se convierte así en una estación estimada. Al conjunto de estas estaciones estimadas se le unen las 375 estaciones reales. Se obtiene así un mapa de puntos no homogéneamente distribuidos, y por tanto no directamente superponibles para elaborar el climodiagrama de cada uno de ellos y cálculo de factores. La homogeneización se realiza aplicando la técnica de interpolación conocida como *kriging*.

Entre las ventajas de este sistema está el que puede utilizarse en países o regiones con escasas estaciones meteorológicas o desigualmente distribuidas, aprovechando el trabajo previo de establecimiento de isolíneas del Servicio Meteorológico correspondiente, así como salvar los inconvenientes de límites máximos altitudinales de aplicación de las curvas de regresión de factores en función de la altitud y no ser necesario modelo digital de elevaciones alguno, por estar la cota implícita en el proceso de elaboración de las isolíneas. Entre sus desventajas hay que citar el que no siempre existe suficiente información disponible sobre la forma de elaboración de estas isolíneas por el Servicio Meteorológico correspondiente y sobre la estimación de errores.

Estimación termoplúviométrica a partir de ecuaciones territoriales de regresión:

Recientemente el trabajo de SÁNCHEZ-PALOMARES *et al.* (1999) “*Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplúviométricas para la España peninsular*” ha abierto un nuevo campo para la estimación factorial en el territorio peninsular. Este autor, dividiendo el territorio en subcuencas hidrográficas y utilizando estaciones termoplúviométricas reales en el periodo 1940-1989 ha establecido para cada una de esas subcuencas una ecuación de regresión del tipo:

$$\text{Valor Clim.} = a + b.(Z/10^3) + c.(X/10^5) + d.(Y/10^5) + e.(H/10^3)^2 + f.(X/10^3)^2 + g.(Y/10^5)^2$$

En donde X e Y son las coordenadas U.T.M. del punto, Z su cota y el valor climático calculado es la precipitación media mensual o la temperatura media mensual.

De esta manera, disponiendo de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de un determinado territorio pueden estimarse los valores de P y T mensuales y por tanto proceder posteriormente al trazado del climodiagrama Walter-Lieth y cálculo de factores fitoclimáticos.

Las ventajas e inconvenientes de este sistema son casi las complementarias del anterior. Entre sus ventajas hay que citar su sencillez, pues no es necesario acudir a costosas digitalizaciones previas ni a complicados procesos

de interpolación posteriores y la aparente mayor facilidad para determinar numéricamente su fiabilidad mediante coeficientes de correlación finales clásicos. Entre los inconvenientes habría que citar la necesidad de un gran número de estaciones meteorológicas para su establecimiento (lo cual no es la regla general en muchos países) así como la existencia de claros límites altitudinales en los extremos de las curvas a partir de los cuales muchas estimaciones no son fiables.

La aplicación de este método de estimación factorial nos lleva inevitablemente a tratar el tema de los MDE disponibles y la elección del más conveniente a nuestro estudio:

Modelos Digitales Globales: Existe libre acceso en Internet a algún MDE a nivel planetario que, aunque no de mucha resolución, tiene la ventaja de su gratuidad y de su universalidad. Uno de los más conocidos es el denominado GTOPO30, realizado por el organismo norteamericano U.S. Geological Survey que cubre toda la superficie terrestre con una resolución de 30 arcos de segundo, lo que supone en proyección U.T.M. cuadrados de aproximadamente 1 km de lado. No sería recomendable su uso para estudios de ámbito territorial más reducido que el nacional.

Modelos Digitales Locales: Los MDE de ámbito provincial del Instituto Geográfico del Ejército o del Instituto Geográfico Nacional existen en versiones de 50x50 m, 100x100 m o 200x200 m. Para estudios de ámbito inferior al provincial serían recomendables en general los MDE50, para estudios provinciales los MDE100 y para estudios regionales los MDE200.

Cálculo de datos a partir de un MDE mediante FITOCLIMOAL'2000:

El manejo de un fuerte volumen de datos que implica el cálculo de datos con un MDE, normalmente más de 1.000.000 de puntos ha podido ser solventado satisfactoriamente mediante el módulo correspondiente del programa FITOCLIMOAL'2000. Este módulo permite calcular los valores mensuales de P y T utilizando los modelos de estimación de

SÁNCHEZ-PALOMARES *et al.* (1999) y a partir de un MDE determinado, previamente cruzado con las subcuencas definidas por este autor y grabar la tabla correspondiente para su utilización posterior en el cálculo de factores. Con objeto de poder solventar el problema de los límites altitudinales de aplicación de las ecuaciones de regresión, se permite la introducción manual de gradientes altitudinales en caso de disponer de ellos, que comenzarían a actuar a partir de las cotas máximas por subcuenca determinadas por el autor y que están introducidas en el programa.

3.2. Estimación de factores (Modelo Digital Fitoclimático Factorial)

Una vez estimados en continuum los datos termopluviométricos mensuales básicos necesarios para la construcción del climodiagrama Walter-Lieth de cada punto, estaremos en condiciones de abordar el cálculo de los factores fitoclimáticos propios del sistema fitoclimático Allué-Andrade. Este cálculo implica la necesidad de un muy fuerte potencial de cálculo informático por el volumen de datos a tratar y la complejidad de cálculo de algún factor (K). FITOCLIMOAL'2000, permitiendo lanzar el proceso de cálculo a partir de la selección previa de una tabla de datos preexistente, calculada a partir de estaciones reales en formato ASCII del Instituto Nacional de Meteorología o bien procedente de estimación a partir de un MDE. La vocación de tratamiento masivo de datos y no pormenorizado ha obligado a prescindir de la visualización de cada climodiagrama Walter-Lieth, cuyas características son calculadas no obstante internamente por el programa:

3.3. Diagnósis Fitoclimática (Modelo Digital de Coordenadas Fitoclimáticas)

El inicio de cualquier estudio fitoclimático en condiciones de continuum digital es sin lugar a dudas la diagnósis fitoclimática, esto es, el cálculo de coordenadas fitoclimáticas escalares y el paso a un nuevo escenario topológico en el que se sustituye el tradicional espacio factorial no euclídeo por un espacio

escalar de características euclídeas en el que se habla un lenguaje directamente fitológico.

El cálculo puede realizarse mediante el módulo correspondiente del programa FITOCLIMOAL'2000. Tanto el cálculo de factores como el de coordenadas fitoclimáticas para estaciones concretas se desarrollaron en su momento en "Basic" en las informatizaciones CLIMOAL (MANRIQUE, 1992) para España y CLIMOTUR (MANRIQUE, 1999) para Turquía. Ambos programas, desarrollados como decimos en BASIC y pensados para estudios puntuales no disponían de la potencia necesaria para abordar tratamientos masivos de datos. La vocación de tratamiento masivo de datos y no pormenorizado de FITOCLIMOAL'2000 ha obligado a prescindir también de la visualización de cada matriz completa, proporcionando únicamente su última línea de coordenadas fitoclimáticas. El programa ofrece, a partir de la selección previa de una tabla de factores preexistente o calculada por el propio programa y de un sistema fitoclimático (conjunto formado por una tabla de ámbitos, una tabla de poderes caracterizadores, una tabla de escalares máximos y una clave cualitativa), una tabla de diagnóstico que contiene como información el subtipo fitoclimático (diagnóstico monotética), las coordenadas fitoclimáticas (diagnóstico politética), la terna fitoclimática reducida (G; A1; A2; A3; D1; D2) y la terna fitoclimática ampliada ($e_g \cdot G$; $e_{a1} \cdot A1$; $e_{a2} \cdot A2$; $e_{a3} \cdot A3$; $e_{d1} \cdot D1$; $e_{d2} \cdot D2$), siendo G el nº del subtipo fitoclimático genuino, A1, A2 y A3 los subtipos análogos en orden de proximidad (escalar) decreciente y D1 y D2 los números de los subtipos fitoclimáticos dispares más cercanos (escalares mayores) y e_i el escalar correspondiente al subtipo i. Por ello, a partir de estos resultados pueden construirse modelos digitales de coordenadas, de subtipos y de ternas, siendo los dos últimos los más recomendables por su carácter sintético. Como orden de magnitud, podemos decir que un cálculo de 1.500.000 puntos en un ordenador Pentium II a 400 Mhz dura del orden de 8 horas.

Hay que citar la interesante posibilidad ofrecida por el programa de detectar los puntos en cuya diagnóstico no aparezca ningún subtipo genuino, permitiendo en su caso

ampliar los ámbitos fitoclimáticos utilizados de forma que puedan abarcar todos los valores factoriales manejados y generar así un sistema fitoclimático nuevo *ampliado*, mediante la asignación de cada punto sin genuino al ámbito que le asigna a su vez la clave cualitativa. La realización de un nuevo proceso de diagnóstico con estos ámbitos ampliados dará un resultado en que todos los puntos posean un subtipo genuino.

Entre las primeras aplicaciones, todavía provisionales, podemos citar la primera versión del mapa fitoclimático digital de España según el sistema Allué-Andrade, basado en el MDE del GTOPO30, es decir, en cuadrícula 1x1 km. La escasa finura del MDE utilizado debido al excesivo tamaño de malla no da toda la fiabilidad requerida en las cumbres de los macizos montañosos, por lo que se está en la actualidad en fase de *reconstrucción* a partir de la composición de mapas provinciales basados en MDE 100x100 m, del que se ofrece en la presente reunión un ejemplo para la provincia de Burgos (GARCÍA LÓPEZ et al., 2000b).

4. POSIBILIDADES Y EXPECTATIVAS

El establecimiento de un Modelo Digital Fitoclimático (MDF) está llamado a tener en el futuro importantes aplicaciones, y entre ellas:

- El establecimiento de mapas territoriales fitoclimáticos digitales, no sólo de subtipos (diagnóstico monotética), sino incluso de ternas reducidas (diagnóstico politética), siendo esto último un importante paso en las utilidades del sistema Allué-Andrade. El mayor peso que ello permite dar a las ternas frente a los subtipos permitirá avanzar sin duda hacia que el sistema se utilice cada vez en su potencialidad politética comparativa en lugar de la meramente monotética de asignación de subtipo al punto. Incluso podría pensarse en futuras sustituciones de los subtipos por ternas reducidas en la tipología fitoclimática, lo cual matizaría aún más la diagnóstico.
- La posibilidad de integración del MDF como capa de información territorial en

variados SIG, con posibilidad directa de visualización y de confrontación con otras capas de información, abriendo ilimitadas posibilidades de análisis y de explotación de la información subyacente. En este sentido, se contempla la futura integración del programa FITOCLIMOAL'2000 en alguna nueva versión del SIG Arc-View, por su compatibilidad directa con Microsoft Access y Visual-Basic, permitiendo una gestión más eficaz de la información.

- Actualización de los subtipos fitoclimáticos y de sus tangencias mediante superposición automática de capas digitales fitoclimáticas y de capas digitales fitológicas. Podría incluso pensarse en una completa automatización del proceso de comparación entre ambas capas, generando por maximización de superficies de coincidencia la clave fitoclimática cualitativa. Será ineludible, como ya se ha señalado en otras ocasiones (García López, 1999), afrontar en algún momento el establecimiento de las bases para una futura *fitosociología de estrategias*, en la que la anécdota florística vaya siendo sustituida por significaciones ecofisiológicas trascendentes.

- Establecimiento de los ámbitos fitoclimáticos de los subtipos IV(VII), X(IX)₁ y X(IX)₂ y ampliación del resto.

- Posible definición de algún subtipo nuevo para fitologías integradas por coníferas de montaña xérica, principalmente *Pinus nigra*, *Abies Pinsapo* o incluso *Pinus sylvestris* sureño.

Además, introduciéndonos en campos colaterales del sistema Allué-Andrade como la homologación, el estudio del cambio climático y la profundización en las propiedades del espacio fitoclimático escalar, existirían al menos como aplicaciones directas las siguientes:

5. HOMOLOGACIÓN Y CONTINUUM DIGITAL

La utilización del módulo “*Homologación*” del programa FITOCLIMOAL'2000 permiti-

rá efectuar no sólo homologaciones estación a estación como hasta ahora, sino que permite dar el salto a homologaciones más amplias de tipo superficial, lo cual abre un muy interesante campo de definición de áreas de viabilidad fitoclimática, posibilidades superficiales de repoblación forestal etc. FITOCLIMOAL'2000 genera, a través de dos tablas o modelos digitales de diagnóstico fitoclimática a comparar, generados mediante el mismo sistema fitoclimático, dos tablas de ordenación de ternas reducidas (niveles 1 o 2 de homologación):

Nivel 1: Coincidencia de subtipos genuinos, análogos y dispares entre ternas, conservando su orden (GARCÍA-LÓPEZ, 2000c & 2000d).

Nivel 2: Exigencia añadida sobre el nivel 1 de que el escalar correspondiente al subtipo genuino esté comprendido en el interior del intervalo de escalares genuinos de las ternas origen homólogas de nivel 1.

6. DINÁMICA FITOCLIMÁTICA Y CONTINUUM DIGITAL

Estando una cierta variabilidad en la naturaleza misma del clima, es conveniente distinguir bien otras variabilidades que no lo están. Se ha propuesto el término “*cambio*” para referirse a su acepción más común, es decir, a un proceso gradual capaz de llevar sostenidamente fuera de sus límites al limitado conjunto de cursos meteorológicos compatibles con determinados tipos de vida y, ello, a una escala temporal sensiblemente humana. Desde el punto de vista fitoclimático, el cambio tendría pues un signo trascendente aunque relativamente moderado. Igualmente se propone el término “*variación*” para referirnos a un proceso que, afectando también a los valores determinantes del clima, no sobrepasa los límites compatibles con los tipos de vida que cobija. Desde el punto de vista fitoclimático, la variación es pues conservadora, pero pese a ello puede contener ya señales de tendencia.

En lo relativo a los efectos del cambio, la relación entre las velocidades y persistencias

Tabla 1. Dinámica fitoclimática de la estación de Aranda de Duero (Burgos) en medias móviles de 5 años de amplitud. La primera línea incluye los números de los subtipo. 6: IV₄; 7: IV(VI)₁-IV(VII); 8: IV(VI)₂; 9: VI(IV)₁; 10: VI(IV)₂; 11: VI(IV)₃

MEDIA MOVIL DE 5 AÑOS							MEDIA MOVIL DE 15 AÑOS						
PERIODO	6	7	8	9	10	11	PERIODO	6	7	8	9	10	11
1931-1935	****D	-1,66D	****D	0,36A	-3,58D	****D	1931-1945	****D	0,47A	****D	0,39A	-9,41D	****D
1932-1936	****D	-0,01D	****D	0,44A	-2,22D	****D	1932-1946	****D	0,53A	****D	0,27D	-14,43D	****D
1933-1937	****D	0,36A	****D	0,54A	-1,05D	****D	1933-1947	****D	0,52A	****D	0,35A	-9,59D	****D
1934-1938	****D	0,56A	****D	0,20D	-15,49D	****D	1934-1948	****D	0,67G	****D	0,12D	-13,31D	****D
1935-1939	****D	0,33A	****D	0,41A	-11,80D	****D	1935-1949	****D	0,68G	****D	0,26D	-9,72D	****D
1936-1940	****D	0,58A	****D	0,58G	-26,47D	****D	1936-1950	****D	0,68G	****D	0,48A	-13,66D	****D
1937-1941	****D	0,49A	****D	0,52G	-39,35D	****D	1937-1951	****D	0,55A	****D	0,64G	-6,41D	****D
1938-1942	****D	0,09D	****D	-1,32D	-171,20D	****D	1938-1952	****D	0,41A	****D	0,69G	-1,18D	****D
1939-1943	****D	0,60A	****D	0,13D	-10,75D	****D	1939-1953	****D	0,30D	****D	0,72G	-0,92D	****D
1940-1944	****D	0,48A	****D	0,50A	-3,98D	****D	1940-1954	****D	0,33A	****D	0,71G	-0,54D	****D
1941-1945	****D	0,30D	****D	-6,86D	-136,80D	****D	1941-1955	****D	0,40A	****D	0,71G	-0,76D	****D
1942-1946	****D	0,47A	****D	-3,30D	-50,11D	****D	1942-1956	****D	0,33A	****D	0,71G	-0,63D	****D
1943-1947	****D	0,67G	****D	0,54A	-18,04D	****D	1943-1957	****D	0,36A	****D	0,70G	-0,97D	****D
1944-1948	****D	0,70G	****D	0,51A	-18,06D	****D	1944-1958	****D	0,30D	****D	0,72G	-0,90D	****D
1945-1949	****D	0,72G	****D	-0,24D	-7,53D	****D	1945-1959	****D	0,08D	****D	0,71G	0,07D	****D
1946-1950	****D	0,76G	****D	-0,90D	-15,15D	****D	1946-1960	****D	0,08D	****D	0,70G	0,14D	****D
1947-1951	****D	0,31D	****D	0,72G	-0,28D	****D	1947-1961	****D	-0,02D	****D	0,69G	0,13D	****D
1948-1952	****D	-1,34D	****D	0,63G	0,43D	****D	1948-1962	****D	0,14D	****D	0,71G	-0,01D	****D
1949-1953	****D	-1,89D	****D	0,64G	0,23D	****D	1949-1963	****D	-0,04D	****D	0,70G	0,08D	****D
1950-1954	****D	-0,66D	****D	0,68G	0,29D	****D	1950-1964	****D	0,02D	****D	0,69G	0,11D	****D
1951-1955	****D	0,54A	****D	0,56G	-7,10D	****D	1951-1965	****D	0,37A	****D	0,70G	-3,16D	****D
1952-1956	****D	0,64G	****D	0,41A	-11,36D	****D	1952-1966	****D	0,43A	****D	0,69G	-2,91D	****D
1953-1957	****D	0,66G	****D	0,38A	-81,11D	****D	1953-1967	****D	0,51A	****D	0,67G	-6,15D	****D
1954-1958	****D	0,62G	****D	0,46A	-9,49D	****D	1954-1968	****D	0,56A	****D	0,68G	-4,75D	****D
1955-1959	****D	-0,20D	****D	0,68G	-0,59D	****D	1955-1969	****D	0,51A	****D	0,69G	-3,82D	****D
1956-1960	****D	-0,27D	****D	0,70G	0,29D	****D	1956-1970	****D	0,50A	****D	0,69G	-4,28D	****D
1957-1961	****D	-0,28D	****D	0,68G	0,25D	****D	1957-1971	****D	0,45A	****D	0,70G	-3,94D	****D
1958-1962	****D	0,06D	****D	0,71G	0,13D	****D	1958-1972	****D	0,50A	****D	0,70G	-2,88D	****D
1959-1963	****D	0,13D	****D	0,73G	-0,15D	****D	1959-1973	****D	0,55A	****D	0,67G	-4,12D	****D
1960-1964	****D	0,55A	****D	0,68G	-4,72D	****D	1960-1974	****D	0,70G	****D	0,57A	-12,45D	****D
1961-1965	****D	0,71G	****D	0,56A	-29,56D	****D	1961-1975	****D	0,74G	****D	0,43A	-25,19D	****D
1962-1966	****D	0,76G	****D	-0,47D	-19,36D	****D	1962-1976	****D	0,73G	****D	0,43A	-16,22D	****D
1963-1967	****D	0,71G	****D	0,51A	-15,00D	****D	1963-1977	****D	0,65G	****D	0,55A	-8,80D	****D
1964-1968	****D	0,74G	****D	-1,03D	-71,93D	****D	1964-1978	****D	0,65G	****D	0,50A	-10,65D	****D
1965-1969	****D	0,67G	****D	0,21D	-20,95D	****D	1965-1979	****D	0,60G	****D	0,49A	-9,64D	****D
1966-1970	****D	0,69G	****D	0,16D	-17,99D	****D	1966-1980	****D	0,61G	****D	0,51A	-6,62D	****D
1967-1971	****D	0,70G	****D	-0,88D	-45,11D	****D	1967-1981	****D	0,67G	****D	0,47A	-6,02D	****D
1968-1972	****D	0,75G	****D	-0,88D	-16,98D	****D	1968-1982	****D	0,62G	****D	0,54A	-4,01D	****D
1969-1973	****D	0,66G	****D	0,05D	-10,11D	****D	1969-1983	****D	0,61G	****D	0,57A	-2,28D	****D
1970-1974	****D	0,66G	****D	0,20D	-59,67D	****D	1970-1984	****D	0,65G	****D	0,54A	-3,08D	****D
1971-1975	****D	0,74G	****D	0,25D	-47,15D	****D	1971-1985	****D	0,71G	****D	0,51A	-3,26D	****D
1972-1976	****D	0,56A	****D	0,51A	-9,46D	****D	1972-1986	****D	0,69G	****D	0,56A	-3,09D	****D
1973-1977	****D	0,46A	****D	0,57G	-5,92D	****D	1973-1987	****D	0,69G	****D	0,56A	-0,94D	****D
1974-1978	****D	0,48A	****D	0,54A	-4,75D	****D	1974-1988	****D	0,66G	****D	0,58A	-0,94D	****D
1975-1979	****D	0,34A	****D	0,62G	-1,76D	****D	1975-1989	****D	0,65G	****D	0,60A	-0,18D	****D
1976-1980	****D	0,48A	****D	0,63G	-0,59D	****D	1976-1990	****D	0,66G	****D	0,56A	-0,15D	****D
1977-1981	****D	0,57A	****D	0,61G	-0,89D	****D	1977-1991	****D	0,69G	****D	0,57A	-1,10D	****D
1978-1982	****D	0,41A	****D	0,64G	-1,24D	****D	1978-1992	****D	0,71G	****D	0,58A	-1,58D	****D
1979-1983	****D	0,64G	****D	0,49A	-0,44D	****D	1979-1993	****D	0,68G	****D	0,56A	-1,47D	****D

<i>Tabla 1 (Continuación)</i>						
MEDIA MOVIL DE 5 AÑOS						
PERIODO	6	7	8	9	10	11
1980-1984	****D	0,59A	****D	0,63G	-0,11D	****D
1981-1985	****D	0,73G	****D	-1,34D	-4,93D	****D
1982-1986	****D	0,64G	****D	0,27D	-3,49D	****D
1983-1987	****D	0,62G	****D	0,28D	-0,21D	****D
1984-1988	****D	0,05D	****D	0,68G	0,06D	****D
1985-1989	****D	-0,24D	****D	0,68G	0,20D	****D
1986-1990	****D	-0,62D	****D	0,66G	0,37D	****D
1987-1991	****D	-0,28D	****D	0,66G	-0,42D	****D
1988-1992	****D	0,56A	****D	0,55G	-19,29D	****D
1989-1993	****D	0,50A	****D	0,59G	-50,86D	****D

de transformación factorial y las del deterioro y/o nueva implantación vegetal, con su cuestión añadida de la posibilidad y velocidad de inmigración o mutación de propágulos, parece que determinaría preferentemente el futuro de la vegetación en un lugar dado.

6.1. Espacio fitoclimático escalar. Tamaño, textura y estructura

El paso de un espacio factorial no euclídeo, de características casi exclusivamente climáticas a un espacio escalar de características fitoclimáticas y euclídeo es quizá la gran aportación intelectual del sistema Allué-Andrade. Hasta hoy, la caracterización, propiedades y posibilidades de futuro de este nuevo escenario fitoclimático, en el que hablamos un lenguaje directamente fitológico y trascendente están por estudiar. Uno de los mayores limitantes para el estudio topológico de comportamiento en este espacio fitoclimático proceden de que hasta el momento nuestra entrada en él, a través de un reducido número de estaciones reales no ha sido sino una aguja en un pajar, no permitiendo visiones de conjunto de este comportamiento. El nuevo horizonte de movimiento masivo de datos en ese espacio permitirá sin duda un mayor conocimiento del mismo mediante simulaciones intencionadas de diversas situaciones en continuum.

En principio hasta hoy se han definido las siguientes propiedades básicas de este espacio (GARCÍA-LÓPEZ, 1999):

Carácter finito:

Dado que los escalares no pueden superar un cierto valor, las coordenadas fitoclimáticas tendrán una cota puntual superior calculable, por lo que el espacio escalar presenta un carácter finito. A partir de ciertas distancias muy elevadas (representadas como asteriscos en los espectros), puede considerarse que se anula el efecto de los ámbitos sobre los puntos, por lo que existirá también una cota práctica inferior calculable (aunque no teórica), por debajo de la cual el modelo ya no funciona.

Carácter direccional:

Al estar los ámbitos tipológicos ordenados, y por tanto tener carácter direccional los pasos factoriales de uno a otro, el paso entre escalares de un punto respecto a estos ámbitos participará por tanto de alguna manera de esta direccionalidad. Es decir, las coordenadas escalares de una situación reproducirán de alguna manera la ordenación de los ámbitos, estando vacía cualquier otra posibilidad.

Carácter "grumoso":

En la composición del escalar participan las funciones de posición, con carácter continuo, pero también los poderes caracterizadores, que presentan un carácter discontinuo, por estar formados por saltos, esto es, tomarán valores tabulados concretos no continuos en función de que cada valor esté incluido en 1 ámbito, en 2 ámbitos etc... Es decir, que el espacio escalar presentará vacíos o discontinuidades, consecuencia de los ingredientes discriminantes también discontinuos que integran los valores escalares.

El espacio fitoclimático tiene pues un volumen limitado, una textura grumosa y una estructura direccional.

El estudio concreto de una estación puede ayudarnos a intuir esta dinámica en el interior de un espacio escalar. Se ha elegido intencionadamente la estación de Aranda de Duero (Burgos), por contar con más de 50 años de datos termopluviométricos del INM (1931-1994) y por encontrarse ubicada en una zona

de la provincia en la cual se han detectado cambios recientes en la cubierta vegetal. Estos cambios consisten básicamente en “*carrasquización*” de gran parte de las cubiertas actuales de *Pinus pinaster*, importante aumento de la mortandad de pinar en pie, que en la mayoría de los montes ordenados supera la posibilidad de regeneración en m³/año e importante avance del sotobosque, fundamentalmente de *Quercus ilex* y en menor medida de *Quercus faginea*. El Módulo correspondiente del programa FITOCLIMOAL'2000 permite el cálculo de tablas de datos en medias móviles de amplitud determinada por nosotros. El cálculo posterior de la tabla de factores y de la diagnosis se realiza, tal y como ya se ha apuntado anteriormente. En la tabla 1 se expone el resultado de utilizar medias móviles de amplitud creciente de 5 a 15 años.

La correcta determinación de la amplitud de la media móvil utilizada en un estudio dinámico fitoclimático, y en general la amplitud de cualquier compendio de diagnosis fitoclimática es fundamental a la hora de asegurar una correcta interpretación de los resultados, por dos razones principales, la primera de orden numérica, centrada en la estabilización temporal de los promedios a partir de cierta amplitud, y la segunda de índole ecofisiológica, por la cual fenómenos propios de las cubiertas vegetales como la integración, la acumulación y la inercia se producen, y consecuentemente se detectan sus consecuencias, a partir de una cierta amplitud de años considerados. En la tabla 1 puede verse como la estabilización intermedial y, consecuentemente, la mejor visualización del presunto cambio fitoclimático que se produce en la estación de Aranda de Duero desde el subtipo nemoromediterráneo VI(IV)₁ al mediterráneo transicional IV(VI)₁ se detecta a partir de amplitudes de medias móviles de aproximadamente 15 años.

Al margen de la inmediata consideración de que este cambio de genuinidades desde el subtipo VI(IV)₁ al IV(VI)₁ en su posible responsabilidad en parte de la sustitución de cubiertas de *Pinus pinaster* por *Quercus ilex*, nos interesa más destacar aquí los movimientos que ello determina en el espacio escalar.

Como ya se ha mencionado en otro lugar (GARCÍA-LÓPEZ, 1999), una variación del clima no cambia como es natural los ámbitos tipológicos, que son por definición inalterables. Se traduce solo en un cambio de posición de las estaciones en la potencial nube de puntos fitoclimáticos posibles. Este cambio habrá de obedecer a las leyes de organización espacial comentadas. La variación pues de una coordenada:

- No generará coordenadas que rebasen los valores extremos del espacio.
- Su nueva posición será inconexa con la anterior
- La variación del resto de las coordenadas afectará a todas ellas de manera coherente.

La trascendencia del cambio no debe medirse exclusivamente en términos de cambios de subtipo genuino, sino que debe interpretarse de forma coordinada con la evolución temporal de los factores y especialmente en términos de dinámica coordinada.

En la figura 4 se ha representado la evolución temporal de los escalares correspondientes a los subtipos VI(IV)₁ y IV(VI)₁. De su estudio se pueden al menos adelantar algunas conclusiones:

- Su evolución es casi especular, coincidiendo sensiblemente los escalares más altos de VI(IV)₁ con los más bajos de IV(VI)₁ y viceversa.
- Tras dos periodos consecutivos de alternancia de IV(VI)₁ y de VI(IV)₁ respectivamente, parece que la nueva predominancia de IV(VI)₁ a partir de aproximadamente la media móvil nº 30 se efectúa en un nuevo escenario de virtual paralelismo de escalares en valores altos de los mismos, lo que podría sugerir una futura estabilidad de esta situación mediterránea transicional sobre la nemoromediterránea. Los elevados valores escalares en esta nueva fase, tanto de genuino como de análogos sugiere, como así es, que las únicas tendencias claras de variación se producen en factores como TMC y TMF (ambos alza) no demasiado importantes en la discriminación de ambos subtipos, mientras que los que sí lo

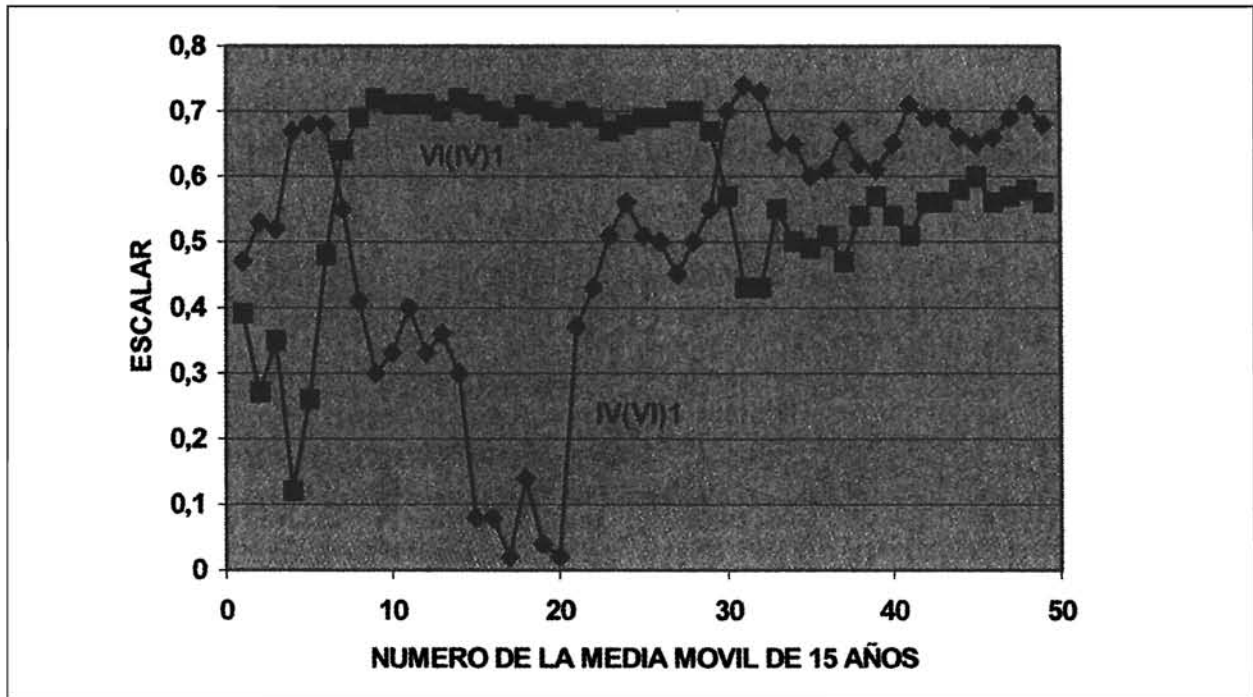


Figura 4. Variabilidad temporal en el espacio escalar para la estación de Aranda de Duero en medias móviles de 15 años de amplitudn entre 1931-1950 y 1974-1993

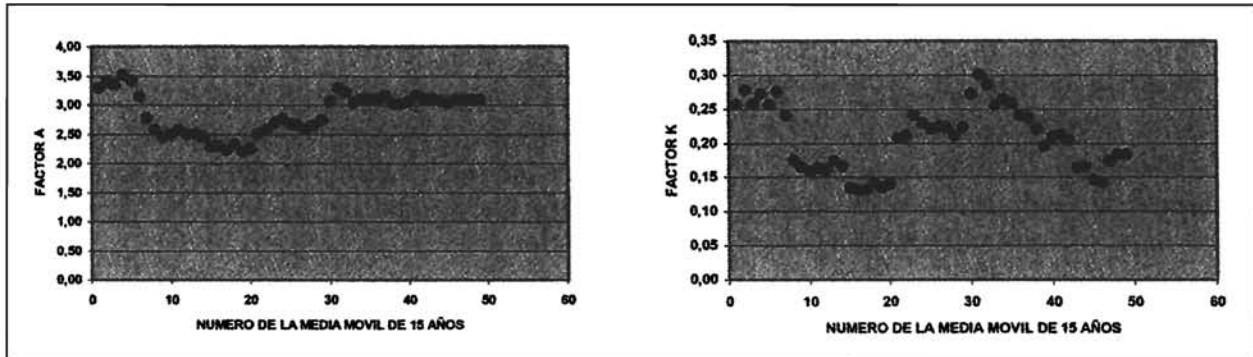


Figura 5. Factores muy discriminantes entre $IV(VI)_1$ y $VI(IV)_1$ sin tendencia temporal asentada para la estación de Aranda de Duero en medias móviles de 15 años

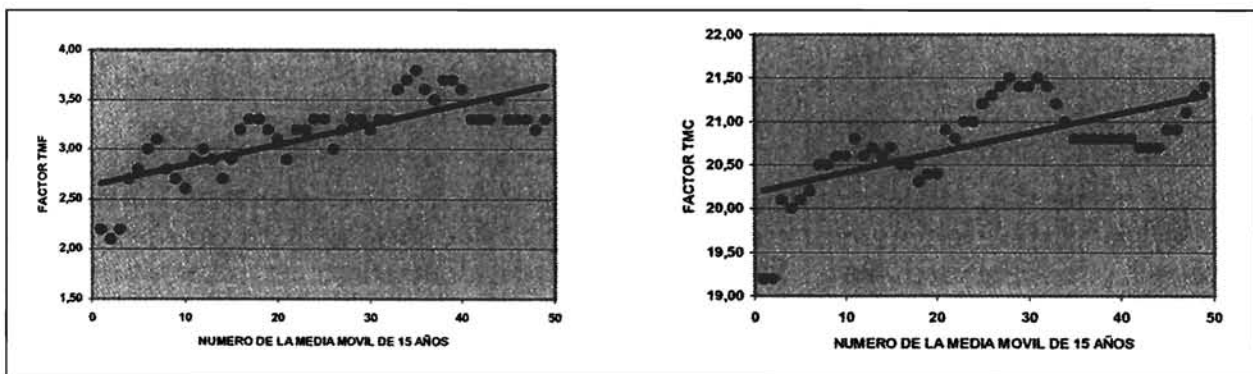


Figura 6. Factores poco discriminantes entre $IV(VI)_1$ y $VI(IV)_1$ con tendencia temporal asentada para la estación de Aranda de Duero en medias móviles de 15 años

son, como K o A no parecen tener tendencia temporal clara.

6.2. Hacia un mapa digital de la dinámica fitoclimática:

Mediante el establecimiento de regresiones del tipo de las utilizadas por SÁNCHEZ-PALOMARES et al. (1999) u otras similares, para medias móviles de 10-15 años de amplitud, se podrá en el futuro realizar un auténtico Mapa Dinámico Digital del Cambio, en dónde, mediante un adecuado sistema de animación secuencial de cada mapa correspondiente a una media móvil podrá verse en pantalla el movimiento correspondiente a las pulsaciones naturales de cada recinto fitoclimático así como los cambios trascendentes. Estas pulsaciones no hacen en la actualidad sino intuirse de forma estática a través de los análogos cercanos al genuino de cada terna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEJANO, R. & MARTÍNEZ MONTES, E.; 1996. Distribución de *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* en las Sierras Béticas. *Ecología* 10: 231-241.
- ALLUÉ ANDRADE, J.L.; 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 221 pp.
- ALLUÉ ANDRADE, J.L.; 1997. *Tres nuevos modelos para la fitoclimatología forestal: Diagnósis, Idoneidad y Dinámica de fitoclimas*. Actas I Congreso Forestal Hispano-Luso. Irati'97. 31-40. Pamplona.
- FONT TULLOT, I.; 1983. *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 1999. *Fitoclimatología de Turquía. Diagnósis, homologación, dinámica y vocaciones*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 825 pp.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 2000a. Taxonomía fitoclimática de Turquía. *Ecología* 13: 25-53.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 2000b. Equivalencias fitoclimáticas entre la vegetación de Turquía y de España. *Lazaroa* 20: 71-94.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 2000c. Homologación fitoclimática de cinco especies forestales de interés entre España y Turquía. *Montes* 60: 33-48.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 2000d. Homologación fitoclimática entre España y Turquía. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) 9(1): 59-87.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; LÓPEZ MORENO, E. & ALLUÉ CAMACHO, C.; 2000a. "Fitoclimoal 2000". Programa para la diagnóstico, homologación y estudio de idoneidades fitoclimáticas en situaciones de continuum. Inédito.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; GONZALO JIMÉNEZ, J. & ALLUÉ CAMACHO, C.; 2000b. *Diagnósis fitoclimática digital mediante técnicas de estimación factorial. Aplicación a la provincia de Burgos*. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Reunión del Grupo de Fitoclimatología. Soria, 21-22 de septiembre 2000.
- MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; 1992. Informatizaciones CLIMOAL. Fundación Conde del Valle de Salazar. Universidad Politécnica de Madrid.
- MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; 1999. Informatizaciones CLIMOTUR. Inédito.
- MARTÍN BLAS, M.T. & MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; 1984. Programas CLIMESP y ESCESP. Inéditos.
- SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F. & CARRETERO CARRERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. 192 pp.