

# **TECNOLOGÍA GEOGRÁFICA**

**PARA EL SIGLO XXI**

Este libro recoge las ponencias y comunicaciones presentadas en el VIII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, que tuvo lugar en el Campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (Bellaterra), del 17 al 19 de septiembre de 1998, organizado por el Grupo de Trabajo de la Asociación de Geógrafos Españoles y el Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Nuestro agradecimiento a las instituciones que han patrocinado el VIII Coloquio:

Caixa de Catalunya  
Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica  
y Teledetección. AGE  
Departament de Geografia. UAB  
Generalitat de Catalunya. Departament de la Presidència. Comissionat  
per a Universitats i Recerca  
Ministerio de Educación y Ciencia  
Vicerektorat d'Investigació. UAB  
Vicerektorat d'Economia i d'Administració. UAB

Coordinador de esta edición:  
Pau Alegre i Nadal

Secretaría técnica:  
Francisco Javier Camps Fernández

Impresión:  
Servei de Publicacions  
de la Universitat Autònoma de Barcelona

ISBN: 84-8416-270-2  
Depósito legal: B. 49.803-1998

ISBN 84-8416-270-2

## INDICE

**Creus Novau, José**

*Variabilidad y estabilidad del clima español durante el último milenio. Estudio de fuentes dendrocronológicas.....*6-40

**Michael Gould**

*Innovación en Sistemas de Información Geográfica.....* 41-59

**Chuvienco, Emilio**

*El factor temporal en teledetección: Evolución fenológica y análisis de cambios.....* 62-75

### 1. MODELOS DE LOCALIZACIÓN: INSTRUMENTACIÓN Y OPERATIVA

**Pitarch Garrido, María Dolores**

*Un modelo de evaluación de la localización de la oferta de servicios educativos públicos.....*77-94

**Tapiador Fuentes, Francisco J. / Casanova Roque, José L.**

*Estudio topológico de optimización de la red de carreteras Castellano-Leonesa .....95-105*

**García Clemente, Francisco Manuel**

*Cuantificación de la calidad de vida en los diferentes sectores urbanos de la ciudad de Cuenca .....106-119*

**Santos Preciado, José Miguel**

*El tratamiento de las variables ordinales en la metodología de evaluación multicriterio (EMC): el método de las precedencias.....120-131*

**Galacho Jiménez, Federico B.**

*Metodología aplicada para la delimitación y valoración de la calidad de unidades ambientales en el estudio del impacto ambiental del planeamiento urbanístico .....132-145*

### 2. GEOGRAFIA Y MEDIO AMBIENTE: MÉTODOS DE MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS

**Adame, M<sup>a</sup> Antonia / Galí, Ignasi**

*Una metodología para la realización de un calendario pluviométrico: Aplicación en el caso de Sant Celoni (Barcelona) .....147-154*

**Martinez Fernandez, J.**

*Un analisis de la variabilidad espacial: aplicacion a variables edaficas .....155-166*

**Marc J. Prohom Duran**

*Principales características de la brisa marina estival en un punto de la costa catalana: Sant Pere Pescador* .....167-179

**Martín Vide, Javier / Esteban Veja, Pere**

*Metodología para la construcción de un calendario de nubosidad. El caso de Barcelona* .....180-187

**López Arroyo, Juan / Martín Vide, Javier**

*Potencialidades de la red de descargas eléctricas de España* .....188-195

**Badia i Perpinyà, Anna**

*Análisis de la ocurrencia de incendios en el area metropo-litana de Barcelona: fase previa para la validación de índices de peligro* .....196-208

**3. INNOVACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Aran, Domènec**

*Modelització de l'accessibilitat dels espais forestals del paisatge a la plana del Vallès* .....210-220

**Pino, J./ Ribas, J. / Pons, X. / Rodà, F.**

*Análisis mediante SIG de la relación entre estructura del paisaje y riqueza de especies de aves en un área perimetropolitana de Barcelona* ..... 221-230

**Ninyerola, Miquel / Pons, Xavier / Roure, Joan Maria**

*Modelización climatológica de la temperatura y la precipitación a través de un Sistema de Información Geográfica* ..... 231-246

**Moreno Jimenez, Antonio**

*Los mapas de actitudes hacia el entorno: un instrumento para exploración del espacio psico-social y para la toma de decisiones con SIG* .....247-263

**Domínguez, Javier / Lago, Carmen / Rábago, Isaura / Sánchez, Eugenio**

*Sistemas de Información Geográfica, energía y medio ambiente: aplicación en el CIEMAT* .....264-273

**Sánchez Martín, José M.**

*SIGCAC: Una herramienta para el análisis del comercio minorista en Cáceres* .....274-283

**Silió, F. / Codron, J. / Campo, L. / Cacho, E. / Rodríguez, F. / Ruiz, Y. / Sainz, S. / Villaverde, C.**

*Bases para el diseño de un SIG orientado al estudio de la degradación ambiental en áreas de montaña: el caso de los Andes Centromedridionales* .....284-292

**Camacho Olmedo, M.T.**

*Caracterización de la evolución de los usos del suelo mediante el sistema de información geográfica ARC/INFO* .....293-304

**Sánchez Martín, José M.**

*Determinación de los factores de localización empresarial en Extremadura mediante Sistemas de Información Geográfica* .....305-314

**Milego, R.; Dr.Nunes, J.**

*Análisis del medio natural y del paisaje mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica* ..... 315-326

**4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTITEMPORAL EN TELEDETECCIÓN**

**Sardinha de Oliveira Neves**

*La Teledetección y los Sistemas de Información Geograficas para la reagrupación espacial de datos estadísticos en medio urbano* .....328-340

**Sánchez, M. / Aguado, I. y Chuvieco, E.**

*Estimaciones de evapotranspiración a partir de imágenes NOAA y datos meteorológicos.* .....341-350

**Cocero, D./ Aguado, I./ Camarasa, A. / Riaño, D. /Vaughan, P. / Chuvieco, E. / Gómez, M. / Martín , M.P. Y Salas, J.**

*Estimación de la humedad de la vegetación usando imágenes de satélite e índices meteorológicos del peligro de incendios* .....351-360

**Carvacho Bart, Luis / Barredo Cano' Ignacio / Chuvieco Salinero, Emilio/ Martínez Vega, Javier / Salas Rey, Javier**

*Determinación de variables de riesgo humano en la generación de incendios forestales mediante regresión logística y redes neuronales* .....361-370

**Díaz-Delgado Hdez., R. / Salvador R. / Valeriano, J. / Pons X.**

*Detección de superficies forestales quemadas en cataluña mediante imágenes de satélite durante el periodo 1975-93* .....371-376

**Pascual Aguilar, Juan A.**

*Cambios de usos del suelo, humedad de los suelos y excedentes hídricos : la cuenca de Poyo (Valencia)* .....377-387

**Serra , P.**

*Localización de los usos del suelo de la plana del Alt Empordà a traves de la teledetección (1977-1993)* .....388-397

# VARIABILIDAD Y ESTABILIDAD DEL CLIMA ESPAÑOL DURANTE EL ÚLTIMO MILENIO. ESTUDIO DE FUENTES DENDROCRONOLÓGICAS.<sup>1</sup>

**José Creus Novau**  
Instituto Pirenaico de Ecología  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Jaca (Huesca)

## **Medioambiente y clima.**

Desde hace miles de años, el hombre ha actuado sobre la naturaleza y la ha utilizado para su lógico progreso. Sin embargo, su mínima capacidad tecnológica, su distinta concepción económica de la sociedad de cada momento, la utilización de recursos sólo como supervivencia y la menor presión demográfica que ejercía sobre su entorno facilitaron su integración en el medio ambiente que le rodeaba, independientemente de su grado de conciencia en cuanto al respeto y cuidados que su entorno merecía. Consecuencia de ello fue que los cambios medioambientales que se producían eran de carácter natural, no acelerados por el hombre, y su incidencia sobre los ecosistemas fueron siempre progresivos, de manera que los normales procesos evolutivos de la naturaleza estaban generalmente precedidos de fases adaptativas que duraban milenios, durante los cuales era posible una adecuación de las formas de vida a la nueva situación que se creaba (Díaz Pineda, 1996).

Sin embargo, desde mediados del s. XIX se va configurando un nuevo escenario debido al incremento desmesurado del consumo de energía, a los cambios económicos que surgen como consecuencia de la gran disponibilidad de recursos y al crecimiento demográfico que conllevan asociados. Todo ello favoreció un desarrollismo basado en el consumo desmesurado de dichos recursos, la generación de abundantes residuos urbanos e industriales y un aumento de la contaminación atmosférica, etc, que se tradujo en la degradación de un medio ambiente surgido después de millones de años de evolución y adaptación.

---

<sup>1</sup> Parte de los resultados que se exponen han sido obtenidos con fondos del proyecto CLI-96, financiado por el Programa Nacional del Clima (CICYT-Ministerio de Educación y Ciencia).

Estas modificaciones ambientales presentan una característica hasta ahora muy poco frecuente en la biosfera, salvo en momentos muy concretos de la historia de la Tierra, cual es la rapidez con que se están produciendo ciertos cambios asociados a determinadas alteraciones del medio. A lo largo del proceso evolutivo han tenido lugar perturbaciones que ocurrían de forma natural, pero actualmente su frecuencia e intensidad tienden a ser mucho mayores bajo la influencia humana. De persistir esta rapidez de cambio quizá se supere la posibilidad de adaptación y, en consecuencia, ponga en peligro la supervivencia de las especies. A corto plazo, parece inevitable la creciente presión que ejerce el hombre sobre la biosfera, lo cual lleva consigo una simplificación de la diversidad biológica, de tal manera que el número de especies extinguidas o amenazadas de desaparición ha sufrido un fuerte aumento desde la revolución tecnológica (Díaz Pineda, 1996). Alteraciones que pueden incluso actuar favoreciendo la abundancia de unas especies en detrimento del progreso de otras (Wilson, 1989), aumentando de esta forma los desequilibrios en la naturaleza.

Además de su incidencia sobre la biodiversidad, las modificaciones del medioambiente se plasman en cambios del paisaje, en las formas de vida, en la gestión del agua y otros recursos renovables, en las pérdidas de potencial productivo de los suelos (desertificación), en una contaminación generalizada, etc. que constituyen la línea argumental de los numerosos trabajos científicos que se llevan a cabo desde muchos campos de la ciencia. Por suerte, hoy día ya no hace falta destacar la necesidad de estudiar dichas alteraciones y su importancia no plantea ninguna discusión. Se trata de una cuestión ampliamente aceptada por una sociedad cada vez más sensibilizada por esta problemática y por las repercusiones que se derivan, en el sentido más amplio, cuando ese medio es alterado.

Una parte fundamental de ese medio es el clima, ya que de él dependen en gran medida muchos de los demás componentes que lo forman. No hace falta adoptar posturas deterministas para evidenciar que tanto los factores bióticos como abióticos que conforman el medio ambiente difícilmente escapan a la influencia del clima, y su influencia es más o menos directa según su grado de dependencia. Describir e interaccionar este clima con los seres vivos, los planteamientos económicos, los recursos, las geoformas, etc, forma parte del planteamiento ecológico que trata de

explicar la dependencia entre los seres y su entorno a través del conjunto de relaciones que se establecen entre ellos.

Sin embargo, el clima no ha sido una constante en el tiempo, no es algo fijo e inamovible, sino que a lo largo de la historia del planeta ha cambiado muchas veces, y en algunos momentos de manera bastante general, como lo demuestran las glaciaciones y los periodos interglaciares que se han sucedido a lo largo de millones de años. En estos cambios climáticos están algunas de las razones que explican determinados procesos geo y bioevolutivos en el sentido más amplio, de manera que para su comprensión y explicación deben tenerse en cuenta los acontecimientos pasados del clima y su variación temporal.

Las descripciones actuales se llevan a cabo a partir de las observaciones realizadas durante una serie de años que, de acuerdo con el convenio adoptado en Varsovia por la Organización Meteorológica Mundial en 1935, se aconseja que sean un mínimo de 30, y rara vez se utilizan más. Los resultados obtenidos de un periodo como el citado pueden proporcionar valores medios más o menos representativos, pero también pueden deducirse magnitudes de variabilidad y valores extremos que poco tengan que ver (por ser muy superiores o inferiores) con los acontecimientos en decenios, siglos o milenios anteriores.

La naturaleza del clima y sus consecuencias ecológicas constituyen un tema de gran actualidad, especialmente por las incertidumbres de un posible cambio climático. Su incidencia quizá derive más de la variabilidad y de los valores extremos que puede tomar y llegar a condicionar la amplitud ecológica de determinadas especies que de unas tendencias poco marcadas y unas características medias que pocas veces se repiten y que rara vez son limitantes. Estos parámetros deben cuantificarse, a ser posible, durante un periodo de tiempo lo más amplio posible, para conocer con más exactitud cuáles son sus límites reales de variación y, de esta forma, valorar de forma más adecuada el momento presente en el contexto de un posible cambio climático.

Dentre de estas coordenadas debe situarse el interés de la dendrocronología como método para conocer la evolución del clima pasado a través de las huellas que ha dejado en los árboles, que en el ámbito español la escala temporal se centra en el último milenio. Su nivel de resolución anual, incluso trimestral, permite obtener una reconstrucción cuantificada del clima con la que contribuir a conocer su sensibilidad y



estimar su proyección, independientemente de que cualquier predicción a partir de estimaciones es muy incierta dado que el clima es un sistema muy complejo, y quizá caótico, que todavía no se sabe bien cómo funciona. Con los valores climáticos reconstruidos es posible matizar los criterios actuales sobre la normalidad del clima, determinar con más exactitud las distribuciones estadísticas de las variables y sus amplitudes de variación y, en definitiva, tener una perspectiva más completa de la evolución del clima.

A continuación se resumen los aspectos metodológicos más importantes de la dendroclimatología, cuyo desarrollo más detallado puede consultarse en la abundante bibliografía existente (Fritts, 1976; Cook et al, 1990), a la vez que un avance de los resultados obtenidos dentro del objetivo general de reconstruir el clima español del último milenio.

### **Dendrocronología y dendroclimatología. El anillo de crecimiento anual.**

La dendrocronología es la ciencia que estudia y data las secuencias de anillos de crecimiento anual de las especies leñosas, mientras que la dendroclimatología tiene como objetivo la reconstrucción de los climas del pasado a partir de las cronologías que construye la dendrocronología, previo estudio de las relaciones que existen entre la variabilidad de los datos climáticos y los anillos anuales.

El uso de las cronologías por otras ramas de la ciencia dio lugar a otras denominaciones según la aplicación que de dichas series se hacía. Hoy se habla de dendroecología, dendrogeomorfología, dendrohidrología, dendrofitoclimatología, etc. aunque la dendroclimatología es seguramente la más extendida dado que la relación entre el crecimiento en grosor de los árboles y el clima es de los más estudiados.

La fuente de información utilizada en los estudios dendroclimáticos es la cronología, referida a una serie temporal lo más representativa posible del crecimiento medio que haya tenido una población arbórea en un determinado lugar. Se construyen tomando los crecimientos de varios árboles en una misma zona con el fin de que sean representativas de un determinado contexto medioambiental.

Actualmente, la mayoría de las especies leñosas se caracterizan por tener un cambium vascular que actúa de manera rítmica y se dispone en forma de secuencia de anillos de crecimiento anual. En las regiones templadas dicha ritmicidad está directamente relacionada con las estaciones astronómicas, mientras que en las regiones intertropicales

el crecimiento llega a ser continuo, o intermitente, debido a la ausencia de climas estacionales.

A pesar de que el crecimiento cíclico en algunas leñosas tropicales sugiere que los mecanismos que controlan la periodicidad del cambium vascular puede llegar a ser un proceso fisiológico intrínseco, ciertos experimentos con especies arbóreas europeas en áreas tropicales han permitido observar cómo, con los años, perdían su ritmo biológico estacional (Walter, 1977). Similar comportamiento tienen algunas especies típicamente mediterráneas, capaces de modificar su ritmo cambial si lo hacen las condiciones ambientales (Liphshitz et al, 1986). Por consiguiente, parece confirmarse la existencia de un proceso adaptativo cuando las condiciones son distintas y cuyos resultados son otras estructuras y formas de vida.

Durante el proceso de crecimiento secundario que tiene lugar durante unos meses del año, llamado también periodo vegetativo, diversos son los factores que influyen en la eficacia de la fotosíntesis y en la proporción de materias elaborados que se emplean en engrosar el tronco, lo cual también depende de las necesidades del árbol. El conjunto de relaciones que se generan es muy complejo, influyendo de forma más o menos directa las condiciones habidas durante la fase de latencia, e incluso las del periodo vegetativo del año anterior a través de las sustancias que el árbol ha sido capaz de almacenar. El resultado final es la formación de anillos en el xilema secundario que se identifican gracias a las fluctuaciones cíclicas de ciertas características de sus células y tejidos. Son la expresión de las variaciones de la actividad del cambium vascular, formado por un tejido meristemático secundario con capacidad para dividirse, situado entre el leño y la corteza (Esau, 1982).

El leño, o xilema secundario, está formado en su mayor parte por fibras o vasos situados en sentido vertical con respecto al fuste. Los nuevos elementos que se forman en cada periodo vegetativo proceden de las divisiones del cambium y se sitúan en la parte externa del xilema ya constituido. Hacia el exterior este tejido cambial origina el floema secundario. En el caso de las coníferas la madera se compone de elementos conductores llamados traqueidas, mientras que en las frondosas se diferencian dos tipos básicos de elementos: los elementos conductores denominados tráqueas o vasos leñosos (que en algunas especies pueden ir acompañados de traqueidas) y los que realizan funciones de

sostén llamados fibras. Existen también células de carácter parenquimático cuya misión fundamental es almacenar sustancias.

Un anillo anual (gráfico 1) se define por el crecimiento centrífugo y periódico del tallo que, por sucesivas divisiones del cambium y posterior diferenciación de las células originadas, añade nuevos elementos. Las diferencias que se observan entre los elementos formados al comienzo y final de la estación se denominan leño temprano y tardío. En las coníferas estas variaciones se manifiestan en el tamaño y forma de las células, y en el grosor de sus paredes. El leño temprano está formado por traqueidas de forma más o menos poligonal y de paredes delgadas, mientras que el leño tardío tiene células menores, más aplanadas pero de paredes más gruesas que dan un tono más oscuro a la madera. En las frondosas, la actividad del cambium afecta al tamaño y número de los vasos conductores, que son mayores y más numerosos en el leño temprano, mientras que progresivamente aumenta el número de fibras formadas.

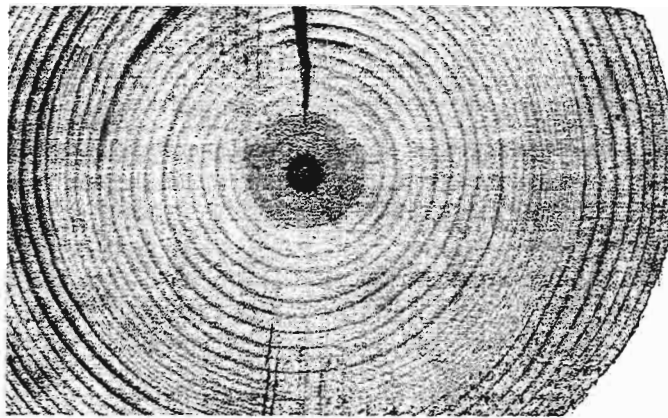


Gráfico 1.- Sección transversal de una rodaja de un ejemplar de *Pinus sylvestris* L. joven. Puede observarse la parte central del tronco más oscura (médula) y el desarrollo del xilema en forma de anillos de crecimiento anual, con progresiva disminución de su grosor hacia la corteza. Los últimos años muestran un mayor crecimiento debido a la eliminación de competencia.

Las anomalías más comunes son los anillos ausentes y los anillos falsos o múltiples. Los primeros se manifiestan por un crecimiento parcial, o inexistente, del xilema, a causa del cese de la actividad del cambium en todo, o en determinadas zonas, del tronco. Suelen aparecer con mayor profusión a medida que aumenta la edad del árbol, pero también cuando existen factores ambientales que limitan el crecimiento, por causa de

fuegos, plagas, elevada contaminación, alta defoliación, desarrollo lateral de la copa, etc. (Norton et al, 1990). Los anillos falsos, o múltiples, aparecen generalmente por todo el perímetro del tronco. Se forman cuando el árbol sufre alguna incidencia negativa, generalmente de tipo ambiental, durante la época vegetativa (sequías, fríos tardíos, etc) capaz de diferenciar células más pequeñas y de gruesas paredes. Una vez restablecidas las condiciones normales, el árbol reanuda la formación de madera temprana y crea una nueva banda estrecha de madera tardía, aparentando la formación de un nuevo anillo de crecimiento. Unos y otros se detectan con experiencia visual, pero sobre todo con el proceso de sincronización.

### **Estrategias de muestreo.**

Los muestreos encaminados a conseguir muestras de árboles para estudios dendroclimáticos deben ser dirigidos y no aleatorios, muy al contrario de lo que generalmente se recomienda en otros campos de la ciencia. Se trata de conseguir muestras que contengan la máxima señal climática y ello sólo es posible eligiendo aquellos árboles que ocupan límites de distribución y altitudinales, donde el factor clima, o alguno de sus elementos, actúa como limitante, o al menos condicionante, del crecimiento. En estas zonas, conviene seleccionar los poco afectados por microclimas, los asentados en suelos esqueléticos y escasos aportes coluviales, los que no presenten alteraciones físicas atribuibles al hombre, etc, con el fin de que la variabilidad que presenten sea mayormente climática. Los árboles seleccionados según estos criterios suelen ser mucho más sensibles y crecen con mayor variabilidad, frente a los de características opuestas que son más complacientes (Gráfico 2). De ahí que la elección de las muestras deba hacerse con determinados criterios cuando los estudios dendroecológicos tengan diferentes objetivos (LaMarche et al, 1982). Finalmente, deben tenerse en cuenta los rasgos físicos externos del árbol indicadores de una elevada edad, dado que cuanto más longevos sean mayor será el número de años que podrán reconstruirse.

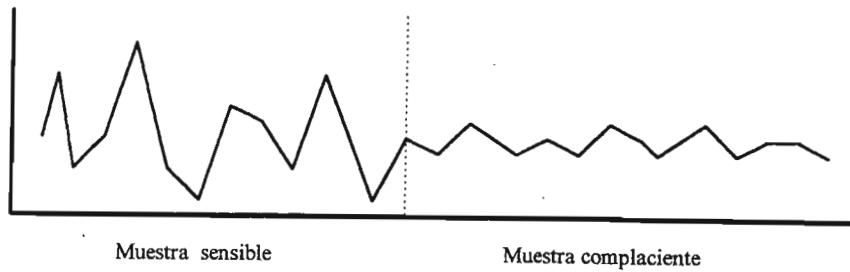


Gráfico 2.- Ejemplos de la distinta señal climática (sensibilidad) que puede tener un árbol en función de las condiciones ambientales en que ha vivido. La muestra sensible es la más adecuada para reconstrucciones dendroclimáticas.

Las muestras se obtienen con una barrena Pressler que permite extraer un cilindro de madera, llamado core o testigo, de 5 mm de diámetro y longitud equivalente al radio del árbol. Generalmente se extraen dos muestras de cada árbol, perpendiculares entre sí, para recoger toda la secuencia en el caso de que el fuste tenga un crecimiento excéntrico. Dado que la cantidad de xilema secundario, su morfología y estructura no son las mismas a distintas partes del fuste, las muestras se toman a 130 cm. del suelo. Se trata de una altura aceptada en este tipo de trabajos, especialmente porque estudios sobre los parámetros estadísticos a distintas alturas han permitido concluir que la variabilidad de los anillos a dicha altura ofrece una buena estima de su variación a lo largo del fuste (Fritts, 1976). Si los árboles han sido apeados, lo más práctico es obtener una rodaja transversal que sin duda constituirá la mejor muestra para el estudio de la secuencia de crecimiento.

Finalmente se dejan secar a temperatura ambiente durante 4-5 días y se colocan sobre soportes de madera para evitar su deterioro. Ya preparadas se cortan y liján en dirección perpendicular a los elementos conductores y se procede a la medición del grosor de cada anillo con el mayor detalle posible. Puede realizarse con una lupa binocular de suficiente resolución y micrómetro incorporado que permita cuantificar la medida, pero la mayoría de los trabajos se llevan a cabo con medidor Aniol con resolución de 0.01 mm. Además, tiene la ventaja de disponer de un software que informatiza directamente las medidas para su posterior tratamiento. Aspecto muy importante cuando se manejan matrices de hasta un millón de dígitos.

El número de muestras ("cores") necesarias para formar una cronología debe ser amplio para que la ponderación de las muestras entre sí minimice las diferencias individuales y

resalte los rasgos comunes. A pesar de ello, no existe una opinión unánime sobre el número mínimo de muestras necesarias. Para algunos autores es suficiente con 10 árboles por localidad, mientras que para otros son necesarios hasta 30-40 árboles (Schweingruber et al, 1990). Sin embargo, otros deducen que es preferible un número pequeño de individuos con secuencias de variabilidad interanual homogéneas entre ellos, que un amplio número de muestras (Fritts, 1976).

### **Sincronización y datación.**

Cada una de las series de mediciones se somete a un procedimiento de sincronización, indispensable y fundamental para formar una buena cronología. Se basa en la interdatación que, mediante la localización de pautas comunes de variación, detecta la existencia de anomalías en las series de datos hasta conseguir la concordancia necesaria entre todas las muestras. Una vez sincronizadas las series individuales (eliminando los anillos falsos y añadiendo los ausentes) se consigue una secuencia temporal correcta y pueden ser datados de forma absoluta. Junto con la estandarización, es uno de los procesos más trascendentes en dendrocronología. ya que, si se realiza deficientemente, puede eliminar gran parte de la variabilidad de alta frecuencia de la cronología (Creus et al, 1992).

En sus comienzos, este proceso era muy "visual" basado en el análisis de diversas características, e incluso anomalías, utilizadas como referencia para localizar anillos ausentes o faltantes. Actualmente, la comparación se lleva a cabo utilizando coeficientes estadísticos paramétricos que de forma más objetiva valoran el proceso. Uno de los métodos más utilizados es el que proporciona el programa Cofecha, que además permite la comparación conjunta de numerosas series (Holmes, 1986). El programa transforma las series mediante filtros y funciones logarítmicas que minimizan la varianza de baja frecuencia y examinan la de alta. Con los datos transformados elabora una serie maestra media, año a año, que es comparada con cada una de las series independientemente a través de correlaciones por segmentos de 50 años, con solapamiento de 25. Para cada segmento se calcula su relación con la serie maestra, indicando su posición correcta en el tiempo e indirectamente cuántos son los anillos dobles y ausentes.

Tabla 1.- Ejemplo del proceso de sincronización con el programa Cofecha. Localización de anillos dobles y ausentes en una muestra.

SeriesInterval	1600	1625	1650	1675	1700	1725	1750	1775	1800	1825	1850	1875	1900	1925	1950	1975	2000				
=====	1649	1674	1699	1724	1749	1774	1799	1824	1849	1874	1899	1924	1949	1974	1999	2024	2049				
=====	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===	===				
cov12s921700-1992	=	=	=	=	0.57	0.46	0.29	0.25	0.38	0.60	0.68	0.55	0.52	0.56	0.58	=	=				
							---A	---A	---B												
cov19e921689-1992	=	=	=	0.67	0.72	0.58	0.62	0.59	0.52	0.44	0.46	0.32	0.51	0.62	0.60	=	=				
													---B								
.....																					
cov19e921689-1992	304 years																				
segment	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
1875-1924	-0.05	-0.12	.14	-0.06	.04	-0.10	.14	-0.03	-0.21	-0.10	.12	.15	-0.16	.75	-0.11	-0.21	.05	-0.17	-0.21	.09	-0.08
OUTLIERS:	3.0 SD above or 4.5 SD below mean for year; mean SD = 0.667																				
	1821 +3 SD; 1982 +3.8 SD																				

La tabla 1 muestra el resumen de un ejemplo de sincronización. En la parte superior de los datos se indican los distintos tramos de 50 años (del año 1600 al 2049) con solapamiento de 25 años. En el lado izquierdo figuran los nombres de las dos muestras (cov12s92 y cov19e92) incluidas en este ejemplo. Los resultados indican que la primera muestra (cov12s92) presenta “problemas” en tres periodos: 1750-1799, 1775-1824 y 1800-1849 por no superar el nivel crítico 0.32 para el 99% de confianza. Las letras ...A y ...B que figuran debajo de los citados tramos son códigos referidos al tipo de problema existente. En esta primera parte del programa es suficiente con saber que hay problema. La segunda muestra (cov19e92) sólo tiene “problemas” en un tramo: el comprendido entre 1875-1924.

La línea de puntos nos lleva a otros resultados del programa donde se especifica el tipo de error detectado. Como ejemplo sólo hemos recogido el caso de la segunda muestra de las dos citadas y nos dice que en el tramo señalado en la primera parte hay tres anillo falsos ( < ... > debajo de +3), y que si los eliminamos conseguiremos una relación de 0.75 con la serie maestra, valor muy superior al que se conseguiría desfasando de -10 a +10 el tramo de 50 años.

La metodología de la sincronización puede aplicarse no sólo a muestras procedentes de árboles vivos, sino también a cualquier resto de madera que contenga una secuencia suficiente de anillos (mínimo 50) hasta conseguir una datación correcta. Con la “superposición” de muestras de *Quercus robur* y *Quercus petraea* de distinto origen y

antigüedad se ha conseguido una serie europea que cubre casi los últimos 10.000 años (Kaiser, 1991).

### **Estandarización.**

Una vez sincronizadas, las series de anillos deben sufrir un nuevo proceso antes de poder elaborar una cronología, dado que las medidas que se utilizan son todavía función de la edad del árbol. Una cronología es una "media" de varios árboles, pero si se promedian directamente sin tener en cuenta el patrón de crecimiento de cada muestra obtendremos una serie resultante que mostrará ciertas fluctuaciones de media y baja frecuencia que muy poco, o nada, tengan que ver con los aspectos comunes del crecimiento, sino con las peculiaridades de las series que adquieren más peso en el sumatorio. Tanto es así que pueden llegar a enmascarar, o eliminar, señales climáticas de primer orden.

Este problema se resuelve sometiendo a cada serie individual a un procedimiento matemático que extraiga las tendencias de media y baja frecuencia no comunes al conjunto de las series. De esta forma es posible ponderar series con diferentes edades, al hacerlas independientes del factor tiempo. Se trata de elaborar un modelo teórico de crecimiento para cada serie, expresado por medio de una función matemática, en torno a la cual fluctúan los valores de cada año. Posteriormente, para estabilizar la media y hacer homogénea la varianza, se relaciona cada incremento real anual con su correspondiente valor teórico obtenido a través del modelo de crecimiento de cada serie, de manera que el crecimiento de cada año se expresa en forma de índices. De esta forma se consigue una nueva serie estacionaria en el tiempo, en la que la autocorrelación ha disminuido significativamente (Fritts et al, 1986).

El aspecto más importante de la estandarización consiste en elegir la función más adecuada para eliminar la tendencia de la serie, sin correr el riesgo de distorsionar (aumentando o eliminando) la señal climática-ecológica que contenga y que queremos extraer. Existen numerosos tipos de funciones que pueden emplearse para estandarizar, siendo las exponenciales decrecientes, logarítmicas, polinómicas, autorregresivas, etc, las más utilizadas. Las exponenciales decrecientes son adecuadas para aquellas series cuya tendencia es debida a la edad, sin distorsiones en su variabilidad general. Más recientemente se ha generalizado el uso de modelos estocásticos flexibles tipo splines, con una longitud de onda de amplitud variable, que parecen adaptarse mejor a las



complejas tendencias del gran número de factores intrínsecos y extrínsecos que intervienen en el crecimiento del árbol. El punto de corte de las funciones aplicadas suele ser al 50% de la frecuencia, siendo por tanto distinto en cada caso (Cook et al, 1990).

El conjunto de muestras de una localidad, sincronizadas y estandarizadas, se agrupan en una cronología local, y el conjunto de ellas forman el banco de cronologías necesarias para realizar reconstrucciones del clima pasado. La tabla 2 muestra los valores de la cronología de la localidad de Invernadeiro (Orense) en forma de índices, cuyo valor real se ha multiplicado por 100 para eliminar los decimales. La tabla de la derecha indica el número de muestras que intervienen para obtener el valor del anillo (índice) de cada año. Cualquier reconstrucción requiere disponer de un mínimo de ellas y que mantengan una significativa sincronización entre sí. Cuanto mayor es el número de cronologías disponibles en una zona,

Tabla 2.- Valores de los índices de la cronología de Invernadeiro (Orense) entre 1561 y 1992. Los números de la tabla de la derecha indican las muestras utilizadas para calcular cada índice.

Date	Tree - Ring Indices (x 100)										Number of samples									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1561		73	73	74	79	135	192	102	75	170		1	1	1	1	1	1	1	1	1
1570	111	111	125	86	83	79	73	93	83	69	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1580	79	73	89	99	79	134	133	114	107	70	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1590	92	98	87	109	73	103	124	99	130	89	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1600	111	88	151	104	81	105	91	56	129	80	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1610	77	101	100	106	106	109	118	99	129	107	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
1620	99	104	93	77	84	81	97	120	105	105	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1630	94	89	99	78	103	137	121	82	96	121	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1640	102	100	105	75	79	131	97	97	112	91	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1650	101	104	89	76	146	103	130	97	108	71	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1660	104	83	83	72	94	99	89	141	110	110	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
1670	129	84	74	110	88	82	77	113	99	122	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7
1680	82	130	108	116	136	90	78	74	96	85	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
1690	105	119	90	90	82	96	86	118	97	124	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1700	125	103	111	84	90	91	87	78	74	97	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1710	114	145	142	128	109	91	96	91	86	88	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9
1720	100	81	80	103	99	100	87	126	102	105	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1730	119	84	90	96	78	93	103	113	104	99	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1740	100	116	170	90	89	101	77	78	69	113	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1750	91	102	108	90	104	134	107	84	109	100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1760	117	121	83	97	73	80	94	96	102	123	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1770	95	127	99	79	95	96	92	94	80	98	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1780	118	118	103	160	83	107	85	99	82	92	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12
1790	120	95	87	77	86	96	147	101	112	116	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1800	102	81	115	89	91	81	73	96	105	90	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1810	95	108	129	110	108	96	88	115	90	85	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13

1820	104	92	96	116	108	111	102	95	94	86	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1830	84	93	103	112	86	121	106	112	110	88	13	13	13	14	14	14	14	14	14
1840	105	122	95	113	96	83	73	87	106	172	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1850	77	95	115	89	102	99	113	89	76	105	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1860	90	109	95	91	82	86	120	100	76	86	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1870	119	99	115	155	124	111	88	87	105	86	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1880	79	73	89	84	84	118	87	95	105	129	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1890	118	97	99	95	89	106	117	140	92	104	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1900	78	88	101	84	100	100	107	118	100	105	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1910	111	103	73	73	121	96	114	88	100	92	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1920	106	106	87	110	111	133	91	69	91	99	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1930	89	133	98	97	112	94	86	83	92	135	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1940	134	89	106	100	93	108	93	74	85	122	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1950	94	107	102	93	95	110	97	112	83	78	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1960	89	97	77	95	103	161	99	92	135	103	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1970	111	96	103	86	89	116	87	88	65	86	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1980	113	94	123	93	95	102	94	138	91	94	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1990	87	102	108								15	15	15						

mayor número de variables podrán ser reconstruidas, a la vez que se reconstruirán con mayor fiabilidad estadística. Su número es variable, pero a ser posible no debe ser inferior a 5-6 cronologías por zona.

#### **La señal común entre series y la validez de una cronología.**

El concepto de “señal” en dendrocronología se refiere a la variabilidad común que existe entre todas las muestras o cores que forman una misma cronología, mientras que la variabilidad específica de cada árbol, o de cada muestra, constituye el “ruido” que carece de valor dendroclimático. Estadísticamente se considera que el ruido se reduce a medida que se incrementa el número de muestras que se incluyen en la cronología, al incrementarse la variabilidad que es común a las muestras. En consecuencia, el ruido no climático puede llegar a ser demasiado importante si no se procura una estricta selección de las muestras y de la homogeneidad entre ellas (Guiot et al, 1982). La señal común se asocia a la señal climática que contiene la cronología y el ruido a las variaciones específicas de las muestras que interviene y que a lo largo del proceso debe ser eliminado para quedarnos sólo con la señal climática.

La valoración y cuantificación de uno y otro conceptos se lleva a cabo por diversos métodos estadísticos, siendo los más habituales el análisis de la varianza entre las distintas series que formarán la cronología y el análisis de las correlaciones entre las distintas series y la cronología final. Los resultados obtenidos permiten conocer la



representatividad de la cronología y si contiene un número suficiente de muestras para un máximo de señal.

El análisis de la varianza contempla distintas fuentes de variación (Briffa et al, 1990). La primera fuente representa el componente común de la varianza de todas las series y árboles muestreados, y se interpreta como la variabilidad de la cronología constituida por las variaciones climáticas. En determinadas zonas puede llegar a representar el 80% de la varianza total (zonas muy áridas), pero se considera suficiente con que se aproxime al 50%. La segunda fuente de variación, debida a las series de valores por árbol, indica la heterogeneidad relativa de la zona y representa la variabilidad diferencial de las muestras cuyo crecimiento se encuentra afectado por diversos factores. Este valor tiende a ser grande cuando las condiciones ambientales han afectado de forma distinta a cada una de las muestras incluidas en la cronología. Finalmente, la fuente de variación asociada a las muestras individuales estima la variabilidad particular de cada una, generalmente debida a factores intrínsecos de cada árbol (competencia, tamaño de la copa, etc...).

Otros coeficientes estadísticos también ayudan a estimar el grado de representación que tiene una cronología. Uno de ellos es el coeficiente poblacional que estima el número de series necesarias para representar la hipotética-teórica cronología. Dicho coeficiente está condicionado por el valor de la señal común e indica la representatividad que tiene la cronología en relación a la que se obtendría con un número teórico de series que representarían la máxima señal común. A medida que la señal común decrece, son necesarias mayor número de series y la fiabilidad de la posterior reconstrucción disminuye. A pesar de las muchas variantes que en la práctica se dan, se considera que un coeficiente de 0,85 es muy aceptable. Estos aspectos constituyen una parte delicada y compleja de la metodología, sin que exista una clara unanimidad en cuanto a la forma de proceder. Tanto es así que algunos autores (Briffa et al, 1990) han demostrado que el número de series imprescindibles para generar una cronología puede incluso variar en función de los métodos de estandarización utilizados, ya que no todas resaltan la señal común con la misma intensidad ni la respetan en igual proporción.

La tasa señal-ruido es otro coeficiente que ayuda a estimar la validez de la cronología, a pesar de que depende mucho del número de series que intervienen en ésta. En la práctica, es aconsejable realizar amplios muestreos para tratar de incrementar el valor de

la señal, dado que a medida que aumenta contribuye a reducir el porcentaje de error de todo el proceso metodológico.

### **El banco de cronologías españolas.**

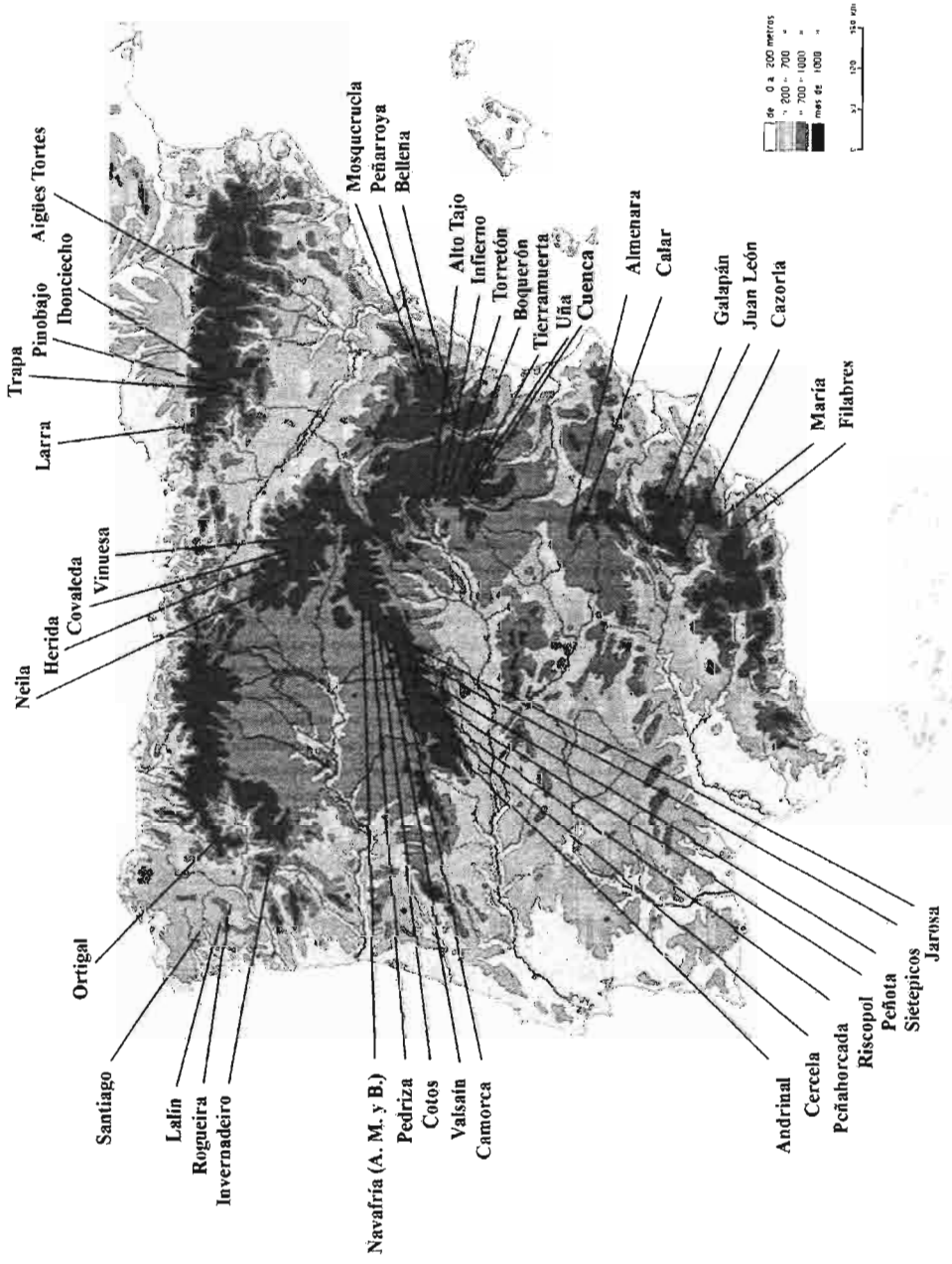
Ya se ha indicado que la fuente de información en la que se apoya la dendroclimatología son las cronologías que se obtienen a partir de los crecimientos anuales de los árboles. Su adecuada sincronización y correcta estandarización es fundamental, pero también es imprescindible disponer de un elevado número de ellas para poder reconstruir aquellos fenómenos y procesos relacionados con el medio natural que han dejado su huella en los anillos de crecimiento.

En el mapa adjunto figuran las más importantes, especialmente por su longevidad, que han servido de base para los trabajos dendroclimáticos realizados y seguirán siéndolo para avanzar en el conocimiento del clima pasado en España.

Los muestreos de campo y la elaboración de cronologías ha sido obra de varias personas que desde principios de los años 80 (Creus et al, 1976 y 1983) han participado en varios proyectos de investigación encaminados a tal fin. Aun a riesgo de no valorar adecuadamente el trabajo de cada una de ellas al resumir sus aportaciones más significativas, cabe señalar las cronologías que E. Gutiérrez Merino (1987, 1989, etc) y R. Génova Fernández (1987) han construido en Cataluña; las de A. Pérez (1993) y Creus-Beorlegui (1994) en Galicia; las de M. Génova Fuster (1994) en el Sistema Central-Serranía de Cuenca, las de J. Creus en el norte y sur de España (Pirineos, cordillera Ibérica soriana y turolense, Sierra de Filabres, Calar, Cazorla, etc.) y las de A. Fernández en el Sistema Central y Serranía de Cuenca (Creus et al, 1992; Fernández et al, 1996; etc).

Igualmente deben citarse los trabajos dendrocronológicos que en la década de los 80 llevaron a cabo algunos autores extranjeros, ya sea como exploración dendrocronológica del territorio español (Bräker et al, 1984) o como intento de crear el imprescindible banco de cronologías (Richter et al, 1988) sin las cuales era imposible iniciar la reconstrucción del clima. En todos los casos se trata de intentos muy loables, pero en general aportan cronologías que no alcanzan la longitud necesaria para realizar estudios que se adentren suficientemente en el pasado. Algunas de ellas apenas superan el periodo de datos instrumentales, razón por la que no se han considerado.

# Red de dendrocronologías españolas



El banco cuenta con más de 1200 muestras pertenecientes a varias especies (*Pinus nigra* A., *Pinus sylvestris* L., *Pinus uncinata* R., *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* L. y *Quercus pyrenaica* W) y procedentes de muchas zonas de España (ver mapa adjunto). *Pinus nigra* Arnold, sp. *salzmannii* es la más longeva de todas las muestreadas, con ejemplares que superan los 1000 años en algunas sierras del sur peninsular, seguida de *Pinus uncinata* R. cuya edad máxima encontrada se acerca a los 700 años en el Pirineo central.

De los múltiples muestreos realizados se puede concluir que determinadas zonas geográficas tienen un potencial dendrocronológico muy superior a otras, siendo las más adecuadas para seguir realizando muestreos dado que con frecuencia se consiguen excelentes resultados. Entre ellas destacan las sierras de Cazorla y Segura (Jaén), El Sistema Central y Serranía de Cuenca, los Pirineos en su conjunto, el Sistema Ibérico tanto en su extremo NW como SE, muchas de las sierras del S-SE peninsular situadas en las provincias de Granada, Almería y Albacete (Baza, Filabres, María, Calar del Mundo, etc), los montes de Invernadeiro-sierra de Queixa (Orense), etc.

A pesar de que el banco de cronologías no es una base de datos cerrada y los muestreos deben continuar, la representatividad espacial y temporal del mismo ya permiten iniciar estudios encaminados a destacar los aspectos más significativos del clima pasado. En esta dirección se está trabajando y algunos de los resultados se exponen a continuación.

#### **Modelos de respuesta del crecimiento frente al clima.**

Los efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento varían entre especies diferentes y entre especies que habitan ámbitos distintos. El árbol actúa como una ventana que, a través de diversos procesos fisiológicos, reconvierte los flujos de entrada de diferentes factores, incluidos los ambientales, en determinadas manifestaciones, una de las cuales es el anillo de crecimiento. Si el árbol, o conjunto de árboles, registran alguno de los factores ambientales que inciden en su crecimiento, es posible utilizar dicho registro ambiental para interpretar las variaciones interanuales del crecimiento a través de un modelo que explique dichas relaciones. Traduciendo esa expresión a términos dendroclimáticos por ser los que ahora nos interesan, supone encontrar un modelo de relaciones matemáticas que nos expliquen el crecimiento anual en función de unos valores climáticos. El análisis indicará cuáles son los más decisivos y cuáles han tenido menor incidencia sobre el crecimiento.

Para calibrar un modelo de relaciones crecimiento-clima se emplean diferentes métodos con distinto grado de complejidad. Los más usuales son la regresión lineal (que requiere conocer "a priori" cuál es la variable que incide en el crecimiento, por tanto es un método del todo superado), la regresión múltiple (que permite expresar el crecimiento en función de diversas variables climática) y regresión paso a paso (analizando primero la variable mejor correlacionada y añadiendo otras según criterios de significación hasta que no es posible aumentar el grado de interpretación). Sin embargo, estudios comparativos aconsejan desechar los métodos de regresión simples por estar más sujetos a multicolinealidad que los métodos multivariantes (Fritts et al, 1991).

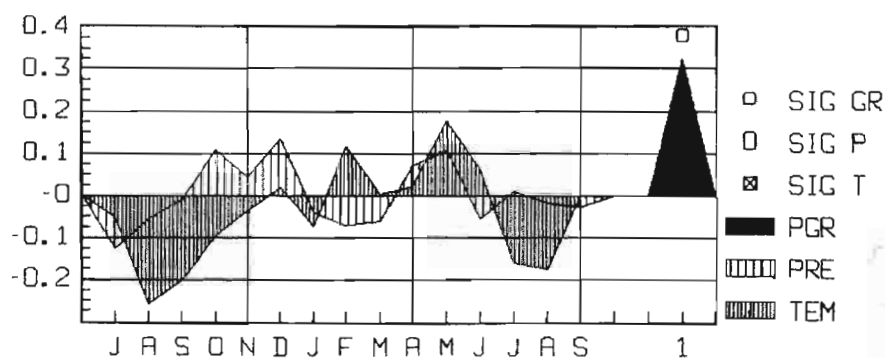


Gráfico 3.- Función respuesta de la cronología de Cazorla (Jaén) con el observatorio de Santiago de la Espada (Jaén). Como predictores se han utilizado los valores de precipitación y temperaturas media mensuales, año a año, entre 1944 y 1988, además del crecimiento del año anterior. Como periodo anual se ha tomado desde julio del año anterior a septiembre del año en curso. El gráfico indica la influencia de la precipitación (PRE), de la temperatura (TEM) y del crecimiento del año anterior (PGR). A modo de ejemplo para interpretar la gráfica cabe decir que la temperatura de agosto es la variable que de forma más negativa influye sobre el crecimiento, mientras que la de abril lo hace de forma positiva, al igual que la precipitación de otoño del año anterior y la primavera del año en curso. El modelo en su conjunto explica el 0.744 de la variabilidad total del crecimiento, del que un 0.398 corresponde al clima y un 0.346 al crecimiento del año anterior.

Dado que muchas de las variables climáticas que se utilizan (precipitación y temperaturas medias mensuales durante un mínimo de 35 años) presentan una fuerte colinealidad (Creus, 1996), actualmente se utiliza la técnica de los componentes principales como forma de eliminarla. Con este método se consigue eludir las relaciones entre variables climáticas al transformar los datos en autovectores que recogen la varianza del proceso y que se emplean como predictores de la función de regresión. Sobre ellos se aplica la técnica "bootstrap" que considera que cualquier serie de observaciones de una variable contiene la suficiente información para construir una

distribución empírica de la probabilidad de cualquier estadístico (Guiot, 1990). Las ventajas del bootstrap estriban en que su aplicación no requiere la existencia de modelos previos acerca de la distribución de frecuencias, siendo suficientes 50 repeticiones para que los resultados alcancen su necesaria estabilidad (Guiot, 1990). De este modo, al utilizar todo el conjunto de datos climáticos disponibles, se incluye un mayor rango de variabilidad climática en la calibración.

Este método toma las variables originales al azar para construir nuevos conjuntos diferentes entre sí según el método de muestreo aleatorio con reemplazamiento, con los que va repitiendo el proceso. Este remuestreo pretende simular repeticiones de los datos y comprobar la variación de los estadísticos, en este caso los coeficientes de la regresión en componentes principales durante las "n" simulaciones (Efron, 1979).

El modelo obtenido en cada simulación procede de unos datos elegidos aleatoriamente, que sirven para la calibración. Los no elegidos aleatoriamente sirven para la verificación del modelo. Gracias a la metodología bootstrap la verificación del modelo es inmediata y no requiere un periodo diferente al de calibración. Dicha técnica constituye un medio muy adecuado para modelizar de forma objetiva la señal climática contenida en las cronologías, al relacionar los índices de crecimiento de varias cronologías con los valores de precipitación y temperatura mensuales de una estación meteorológica cercana.

El total de varianza que explica la función puede interpretarse como una medida de la señal climática recogida, a la vez que la magnitud y el signo de los coeficientes de la ecuación indican la importancia y el tipo de relación de cada variable climática con el crecimiento. El signo positivo indica que la variable mantiene una relación directa con el crecimiento, mientras que el signo negativo indica una relación inversa.

#### **Función de Transferencia.**

Una vez calibrada la función respuesta, se consigue un modelo matemático que explica el crecimiento del árbol en función de las variables climáticas. Este modelo puede hacerse reversible y proceder en sentido contrario para expresar el clima en función del crecimiento. A este segundo modelo se le llama Función de Transferencia, mediante la cual aquellas variables climáticas que en la función respuesta han alcanzado una significación elevada podrán ser reconstruidas durante tantos años como índices tenga la menor de las cronologías utilizadas.



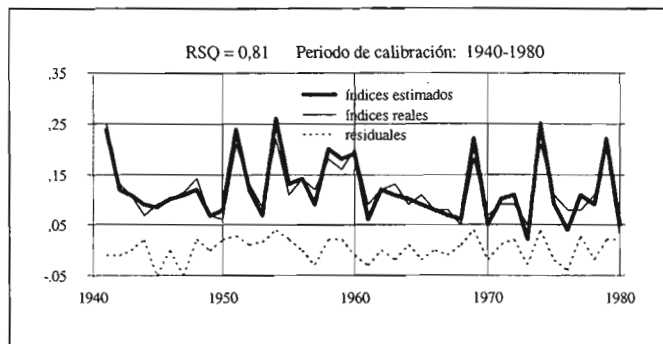


Gráfico 4.- Función de transferencia de la precipitación de Invierno en Pallaruelo de Monegros (Huesca). Se muestran las gráficas de los valores reales, los estimados por el modelo obtenido por regresión en componentes principales y los residuales. La varianza total explicada (RSQ) es 0.81.

Se trata de un proceso metodológico igual al de la Función Respuesta, pero en este caso las cronologías actúan como predictores de las variables climáticas y estas son las variables dependientes o predictandos. Aplicando el modelo resultante al conjunto de cronologías utilizadas, es posible reconstruir hacia el pasado aquellas variables climáticas destacadas por la función respuesta, y conocer el clima de aquellos años.

El límite entre ser reconstruible, o no, una variable climática está en la varianza explicada en cada caso por la función de transferencia, cuya  $R^2$  mínima entre el valor real de la variable climática y el estimado por el modelo debe superar  $>0.32$ . Con frecuencia se consiguen valores entre 0.5 y 0.7 y en algunos casos muy próximos a 0.8. A modo de ejemplo de adjunta el gráfico 4 donde se dibuja el caso del observatorio de Pallaruelo de Monegros (Huesca), cuyo modelo calculado explica el 0.81 de la varianza de los valores climáticos reales.

#### **Nuevos planteamientos metodológicos.**

La concepción tradicional de la dendroclimatología se basa en utilizar cronologías próximas a un observatorio que se quiere reconstruir (Creus et al, 1992). Sin embargo parece ser que árboles próximos entre sí pueden responder de forma distinta a un mismo clima, en función de factores tipo ubicación, competencia, suelos, etc, hasta el punto que al promediar los anillos de este tipo de árboles con desigual respuesta se pierde parte de la señal climática que se quiere conseguir (Fernández et al, 1996). La nueva concepción metodológica parte del supuesto de que la lejanía geográfica no debe ser un factor limitante para utilizar las cronologías dado que la distancia de sincronización puede ser grande. Algunos autores la han valorado en 400 km (Génova, 1987) y hasta 600 km

(Richter, 1988) en el territorio español. De ser así, puede plantearse la construcción de cronologías dirigidas a cada variable independientemente del lugar y la distancia, en vez de cronologías “per se” utilizadas para reconstruir un observatorio más o menos cercano al lugar de procedencia de los árboles. Fernández y Manrique (1998) han puesto a punto este nuevo enfoque metodológico y parten de la existencia de una señal macroclimática casi general en España que hace pensar que hay árboles cuya información es aprovechable en todo el territorio. En base a este supuesto se seleccionan aquellos árboles (muestras) que por correlación simple se relacionan con cada variable climática. De esta forma se consigue un conjunto de muestras “a priori” válido para cada variable, que no tienen por que proceder del entorno del observatorio cuyos valores climáticos se relacionarán con las muestras que servirán para reconstruirlo hacia el pasado.

Previamente, cada muestra se somete a varios tipos de filtrado con el fin de estandarizarlas, siendo la correlación simple la que elige el tipo de filtrado más adecuado para cada variable climática que se quiere reconstruir. Seguidamente todo el conjunto de muestras correlacionadas se agrupan según criterios geográficos para formar las cronologías regionales, necesarias para seguir con el proceso dendroclimático, dirigidas a una determinada variable climática pero sin que sean representativas de ningún lugar concreto.

Según esta metodología, la longitud de las reconstrucciones deja de depender de la menor cronología utilizada, al admitir la posibilidad de incluir muestras de otro lugar de mayor longitud temporal. También se consigue aumentar el número de variables reconstruibles, a la vez que reducir la subjetividad que supone la elección de un filtro para cada muestra de entre el conjunto de filtros estocásticos incluidos en los programas estadísticos utilizados. Con el nuevo método, a cada serie se aplican seis filtros distintos (exponencial decreciente y splines cúbicos de 128, 60, 40, 20 y 5) que se autoseleccionan por correlación con la variable climática que se quiere reconstruir (Fernández et al, 1996). El filtro de mayor correlación es el elegido, siendo éste un aspecto quizá no resuelto de forma satisfactoria. Las reconstrucciones que se consiguen muestran un elevado coeficiente de correlación en los intervalos de calibración y verificación, muy superiores al método tradicional.

Como señalan sus autores, este método conlleva cierto riesgo, dado que el elevado número de cronologías (más de 1200 muestras, que por 6 filtros cada suponen más de

7.200 opciones) podría facilitar que cierto número de muestras entren por azar en la relación con el clima, siendo muy difícil de distinguir las que entran aleatoriamente. Sin embargo, es posible simular numéricamente su distribución y observar cuáles se separan del ella. En este caso la única explicación sería la existencia de una relación importante entre la cronología y la variable climática.

La simulación del proceso por azar se realiza ajustando los datos aleatorios a una distribución gamma que se compara con los valores reales de cada variable. Cuando la posición de los valores reales da lugar a valores elevados de la función de distribución indica un alejamiento del azar y, en consecuencia, una fiabilidad de la reconstrucción. En caso valores pequeños en la función, la reconstrucción debe eliminarse.

### **Aspectos más significativos de la precipitación y temperatura durante el presente milenio.**

Las sucesivas reconstrucciones que se llevan a cabo están generando una base de datos climáticos que, en algunos casos se remontan al siglo XI. Bien es verdad que la información de los siglos XI, XII y XIII debe ser tomada con cierta precaución debido a que las reconstrucciones se apoyan en un número de árboles no elevado, pero a partir del siglo XIV los resultados son lo suficientemente sólidos como para concluir ciertas pautas de comportamiento. Se han reconstruido las precipitaciones y temperaturas trimestrales y anuales en varios puntos de España, del tipo de los obtenidos en Pallaquero de Monegros y que a modo de ejemplo se adjuntan (ver gráfico 5). Sintetizando los aspectos más comunes del conjunto de reconstrucciones se obtienen pautas globales del clima habido sobre la península durante el presente milenio, teniendo en cuenta que los matices y aspectos más regionales todavía no es posible abordarlos por falta de información.

Los siglos XII y XIII se caracterizaron por ser bastante lluviosos, a la vez que disfrutaron de unas temperaturas bastante elevadas. Evidentemente, tales características se vieron interrumpidas por cortas fases en las que las condiciones fueron de signo contrario. El carácter cálido y húmedo de estos siglos correspondería a la fase final del óptimo climático bajomedieval durante el cual prevalecieron dichas condiciones. En ello coinciden varios autores (Font, 1988), sin que se pueda concretar si esta característica fue muy marcada o simplemente fueron años de condiciones distintas a las

que tendrán lugar en siglos posteriores que marcarán el comienzo de la Pequeña Edad Glaciar (PEG).

El siglo XIV comienza con una fase lluviosa que ocupa su primer tercio, acompañada de un ligero descenso térmico que se estabiliza a medida que avanza este siglo. Termina con un periodo de indiferenciación termopluiométrica que acaba al comienzo del siglo XV.

El siglo XV presenta dos claras mitades muy diferenciadas y de signo casi opuesto. En su primera mitad se sucede una alternancia de años húmedos que delimitan una fase lluviosa en oposición a la fase más seca que abarca la segunda mitad de ese siglo. La citada primera mitad húmeda va acompañada de temperaturas elevadas que persisten desde finales del siglo anterior y que recuerda los siglos XII y XIII entroncados en la fase cálida y húmeda bajomedieval, mientras que la segunda mitad conjuga una menor precipitación con una mayor irregularidad térmica que preludian las condiciones que marcarán el comienzo de la PEG.

El siglo XVI es bastante lluviosos en general, incluso en la mitad sur de España (Creus et al, 1983), con precipitaciones elevadas especialmente en su primera mitad acompañadas de temperaturas que tienden a valores bajos en su primera mitad pero que se recuperan en la segunda. La elevada frecuencia de valores anuales extremos de una y otra variable, superiores a 4 desviaciones estándar, permiten situar en este siglo el momento de máxima irregularidad climática del milenio y que es posible asociar con la fase de mayor intensidad de la PEG. La ubicación temporal de dicha fase es bastante unánime en la bibliografía (Lamb, 1969), sin embargo los matices también son muchos, lo cual hace pensar que quizá pudo existir más de una pulsación y que las no concordancias bibliográficas podrían obedecer a considerar como una misma pulsación fases temporales distintas.

Los matices pueden ser muchos, como lo demuestran algunos trabajos que sitúan el momento de mayor intensidad fría en la segunda mitad del siglo XVI (Font, 1988, Martín et al, 1997) y los que han encontrado diferencias de hasta medio siglo en cuanto al final de la fase más fría entre el norte y sur de España (Creus, 1991). De cualquier forma sí parece existir un efecto latitudinal que podría condicionar la secuencia de posibles pulsaciones, incluso el final de dicha fase fría, como parece indicarlo que en la

península finalice antes (Creus, 1991) que en el centro y norte de Europa (Phister, 1992).

Durante el siglo XVII va remitiendo la irregularidad si tomamos como referencia la menor presencia de años con valores anuales extremos (secos, lluviosos, cálidos y fríos). Comienza el siglo con una tendencia a años secos, seguidos de unos años lluviosos que recuperan la precipitación en la mitad del siglo, al que sigue un nuevo periodo con tendencia a disminuir la lluvia a finales del mismo siglo. La temperatura presenta dos comportamientos opuestos: una clara recuperación durante su primera mitad y enfriamiento generalizado en la segunda mitad coincidiendo con la citada reducción pluviométrica. Por consiguiente, el clima de la segunda mitad de siglo vuelve a recordar las condiciones difíciles del siglo anterior.

Como idea general, el siglo XVIII se caracteriza por un predominio de temperaturas elevadas que reflejan la clara recuperación térmica post-PEG, si bien acompañadas de valores pluviométricos bajos durante todo el periodo. Con todo, las temperaturas todavía muestran algunos "altibajos" de varios años de duración que pueden relacionarse con las últimas manifestaciones de la PEG. En conjunto, el clima es poco lluvioso en general, quizá uno de los más secos del milenio

Similar comportamiento tiene la precipitación del siglo XIX: es un siglo poco lluvioso, muy similar al siglo XVIII, a excepción de una ligera recuperación a mediados del mismo. La general escasez de precipitación va acompañada de temperaturas cálidas durante el primer tercio del siglo (fase poco lluviosa y cálida que podría definirse como bastante árida), y de temperaturas más frías durante el resto de siglo (fase poco lluviosa y más fría que persiste hasta los primeros decenios del siglo XX).

Finalmente, llama la atención la fuerte tendencia que la precipitación y temperatura experimentan en la segunda mitad del siglo XX, si bien la precipitación parece haber iniciado un cambio de sentido contrario en la segunda mitad de la década de los años 90. Hasta esa fecha, marcan un periodo climático no conocido en los últimos 200 años y debemos remontarnos a los siglos pre y post PEG para encontrar tendencias de similar intensidad.

### **La variabilidad interanual del clima y la fase PEG**

La posibilidad de disponer de largas series temporales permite conocer otros valores extremos entre los que ha fluctuado una determinada variable a través de los siglos en

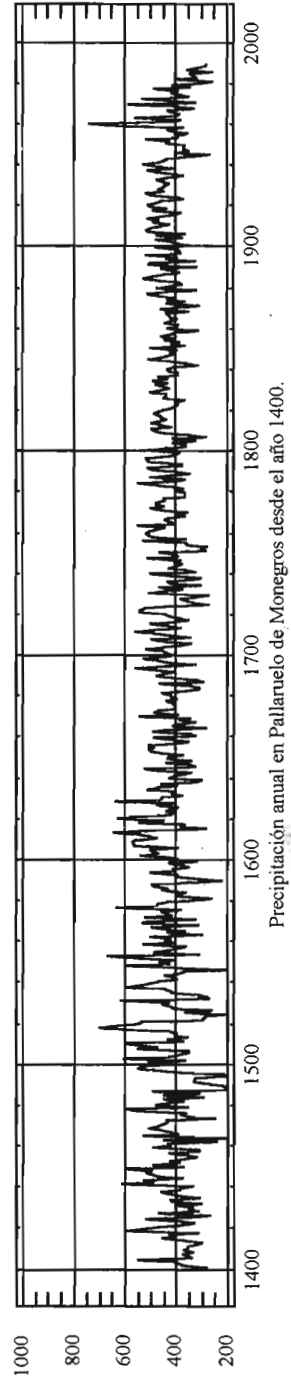
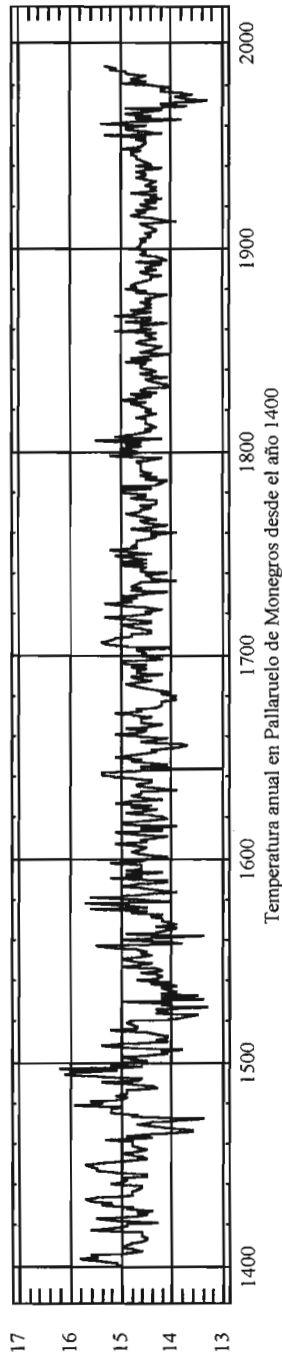


Gráfico 5.- Valores anuales de temperatura y precipitación reconstruidos entre los años 1400 y 1992 en Pallaruelo de Monegros (Huesca).

un lugar concreto y aplicar con mayor precisión los conceptos de normalidad o anormalidad climática.

Uno de los rasgos climáticos que se observa a lo largo de los siglos es la distinta variabilidad interanual que muestra la precipitación y temperatura. Simples recuentos de la frecuencia de años con valores que superan  $M \pm \sigma$  (siendo  $M$  el valor medio entre los años 1400 y 1990) permiten destacar el elevado número de casos que han tenido lugar en los siglos XV y XVI, incluso durante buena parte del XVII si se consideran intervalos de tiempo de duración menor que el siglo. En algunas zonas, casi el 50% de los años superan el valor  $M \pm \sigma$ , de los que el 60% son años  $M - \sigma$  (Creus et al, 1996). En ambos casos son valores muy superiores al número de años habidos durante el siglo XX, si bien en los últimos 30 años (1960-1990) los porcentajes relativos tienden a igualarse.

A similares conclusiones se llega analizando la evolución de los intervalos de confianza de la media y los coeficientes de variación de la precipitación y temperaturas medias anuales en intervalos de siglo. A pesar de su sencillez, ambos parámetros pueden considerarse indicadores de la variabilidad temporal de ambas variables. En el caso de la media se observa que el intervalo de confianza es máximo en el siglo XVI, ligeramente menor en los siglos XV y XVII, y mucho más estable en los siglos XVIII y XIX. Se incrementa notablemente en el siglo XX y alcanza un máximo muy significativo a partir de 1960. Todo ello con independencia del valor absoluto que toman las variables a lo largo de los siglos. Analizando la evolución por siglos del coeficiente de variación se llega a la misma conclusión: es alto durante los siglos XV y XVI, disminuye de forma paulatina hasta el siglo XIX y de nuevo se incrementa durante el siglo XX, especialmente desde 1960.

Ambos estadísticos coinciden en señalar la elevada irregularidad climática que tuvo lugar durante los siglos XV, XVI y buena parte del XVII, lo que contribuye a situar en estos años la máxima incidencia de la PEG. Como ya se ha indicado en el apartado anterior, los momentos de comienzo y final no son temas resueltos, especialmente en relación con las fechas citadas para Centroeuropa, donde sitúan su comienzo casi un siglo antes (Phister, 1992). Para el caso de España, algunos autores (Font, 1988) concluyen fechas muy similares para la fase de máxima intensidad fría (segunda mitad del siglo XVI), mientras que otros sitúan el comienzo de esa misma fase en pleno siglo XVI (Boulangier et al, 1975) y la prolongan hasta mediados del XIX (Barriendos, 1994;

Martín Vide et al, 1997). Todo ello plantea una serie de interrogantes en cuanto a los criterios empleados para definir fases y pulsaciones, y en definitiva para diferenciar episodios de distinta variabilidad climática.

Estudios recientes sobre la frecuencia de valores fuera de rango (outliers) (Manrique, 1997; Creus et al, 1997) han contribuido a situar en el tiempo las fases en que el clima presentó mayor variabilidad a lo largo del milenio. Los trabajos se han basado en la frecuencia de outliers, definido como el valor de precipitación y temperatura que sobrepase  $M \pm 4\sigma$ , siendo M la media de la propia variable a lo largo de los siglos reconstruidos. Utilizar un umbral elevado, superior a 4 desviaciones estándar, tiene como objetivo detectar aquellos valores extremadamente secos o lluviosos, fríos o cálidos; que permitan conocer en qué momento el clima alcanzó rasgos más variables y extremos, sin que ello suponga que en siglos anteriores o posteriores no se hayan dado valores fuera de rango de menor intensidad, y que en este caso no aparecen reflejados.

El gráfico 6 muestra las frecuencias de outliers observados en el conjunto de observatorios reconstruidos, agrupando tanto los de signo positivo (años lluviosos y años cálidos) como los negativos (años secos y años fríos). Se deduce que a partir del siglo XIII en que va finalizando el Óptimo climático Bajomedieval tiene lugar un notable incremento de la irregularidad climática, entendida como una mayor presencia de años en los que los valores de precipitación o temperatura eran muy elevados o muy bajos. Esta irregularidad es más generalizada en los siglos XV a XVII, pero ya perceptible antes de 1400, aunque con menor intensidad. En este caso, la fase de máxima irregularidad en la península Ibérica tendría una duración de unos 250-300 años, inferior en casi un siglo a la calculada para Centroeuropa, cuyo final se prolonga por buena parte del siglo XVIII (Phister, 1992). De nuevo es posible plantear la hipótesis de si el efecto latitud pudo retrasar los inicios y adelantar el final de la PEG en zonas más meridionales y mediterráneas como la nuestra.

Una mayor concreción temporal permite distinguir otros episodios más irregulares, durante los cuales se dieron condiciones climáticas más excepcionales e intensas. Cabe destacar los 40-50 años que agrupan el final del siglo XV y principios del siglo XVI, durante los cuales dicho comportamiento fue muy general, al igual que los frecuentes valores extremos y cambios de tendencia que acontecieron a finales de este último siglo,



aunque menos destacado que en su primera mitad. Algunos autores sitúan en este último periodo la máxima intensidad de la fase fría (Font, 1988).

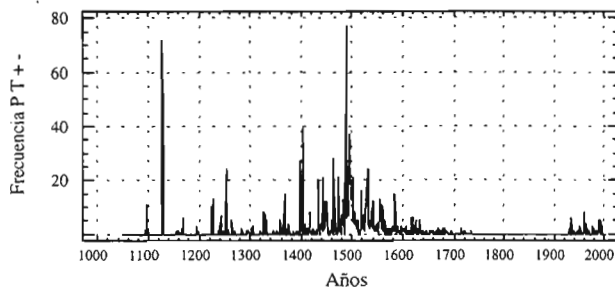


Gráfico 6.- Frecuencia de valores fuera de rango (positivos y negativos) de las variables precipitación y temperatura, conjuntamente.

Probablemente sean algunas de las varias pulsaciones que tuvieron lugar en esa fase fría, durante las cuales el clima presentaba un comportamiento todavía más irregular. Pulsaciones que se han detectado en el contexto del clima peninsular en siglos posteriores a los citados (Barriendos, 1995), aunque hasta el momento es difícil concretar si se trata de episodios climáticos similares y comparables. Desde principios del siglo XVIII la variabilidad va remitiendo y la PEG va perdiendo intensidad, lo cual no excluye que de forma esporádica no se dieran secuencias climáticas también muy irregulares, tan sólo que no alcanzaron el umbral de 4 desviaciones estándar.

Desglosando la contribución de cada variable a la variabilidad general (Manrique et al, 1997; Creus, 1997) se deduce que durante los siglos de la PEG la temperatura contribuyó con un mayor porcentaje de frecuencia a la citada variabilidad. Y no podía ser de otra forma si tenemos en cuenta que la temperatura fue la variable más definitoria de dicha fase.

La fase de estabilidad climática que afectó a los siglos XVIII y XIX parece haberse roto desde los primeros decenios del presente siglo, al tender a una situación de alta variabilidad como la acontecida en los siglos XV a XVII. Podría pensarse que entramos en una fase parecida, sin embargo la irregularidad que se observa en los últimos 40-50



años del siglo XX es muy distinta. En primer lugar no puede atribuirse a una sola de las dos variables citadas ya que ambas actúan casi por igual y, desde luego, su irregularidad no alcanza los valores habidos durante los siglos de la PEG. La actual alternancia de años secos, lluviosos, fríos y cálidos todavía queda muy distante de las frecuencias alcanzadas en los siglos XV a XVII, a pesar del incremento térmico y la continuada disminución de la precipitación desde los años sesenta en algunas zonas de España. En este sentido las incertidumbres son muchas y los interrogantes se multiplican, derivados de si la irregularidad climática puede caracterizar mejor el posible Cambio Climático que las suaves tendencias que hasta el momento se observan y que todavía no se separan de los límites naturales de variabilidad.

### **Tendencia y posibles periodicidades en las series.**

A pesar de la estabilidad temporal que muestran las tendencias medias anuales, carentes de un incremento o disminución significativo de sus valores (ver gráfico 5), sí se observan cambios de corta duración que rompen la citada estabilidad. Estos cambios reflejan alternancias de las condiciones medias, oscilaciones en torno a la media, que invitan a pensar en la posible presencia de periodicidades significativas dentro de la estructura de los datos. Detectar las posibles periodicidades supondría avanzar en el terreno de la predicción, pero aun en estos casos su interpretación es confusa dada la superposición de ciclos de distinta longitud de onda que dificultan enormemente su proyección.

El análisis espectral se ha revelado como uno de los mejores métodos para desglosar las componentes periódicas de un conjunto de datos. Aplicado a las distintas series de valores reconstruidos permite calcular la importancia y significación de los distintos espectros de frecuencias en función de su contribución a la varianza total de la serie. Encontrar efectos periódicos no aleatorios significa disponer de un modelo de comportamiento del clima que puede ayudar a predecir su evolución futura, en este caso tomando como perspectiva los últimos 600-700 años. Los fundamentos y metodología del análisis espectral y de las series temporales puede consultarse en Box et al. (1976); Vandaele (1983), etc.

La amplitud de cada frecuencia se ha calculado con transformadas de Fourier, que permiten descomponer la serie de datos en frecuencias fundamentales periódicas y representarlas como un conjunto de sinusoides. Dada la dificultad que presenta el propio

análisis para distinguir lo aleatorio de lo que no lo es, se ha valorado la solidez de los resultados por medio del test de Fisher expresado como:

$$G = s^2_{\max} / 2s^2$$

donde  $s^2_{\max}$  es la varianza asociada a una determinada frecuencia y  $s^2$  es la total de la serie. El valor G obtenido debe sobrepasar el valor crítico de

$$G_c = 1 - e^{(\ln p - \ln m / m - 1)}$$

donde  $\ln p$  es el logaritmo neperiano de la probabilidad elegida y  $m = n/2$  para series con  $n > 30$  (Davis, 1986).

En la tabla 3 figuran los ciclos más significativos de la precipitación media anual agrupada según zonas climáticas, además del nivel de probabilidad alcanzado (99 y 95) en cada uno de los casos. Se puede concluir que las frecuencias encontradas son muy variadas, tanto entre zonas como entre variables.

CICLOS	Z O N A S					
	Atlántica	Subatlántica	Centro	Mediterránea	Atlán-Sub	Centro-Med
295 años	99					
262 años			99			
204 años				99		
198 años	95					
148 años	99					
135 años						99
101 años					95	
63-66 años	99		99		99	
29-31 años				99		99
24 años			99			99
21-22 años				99		95
17-18 años			99	99		99
14 años	95	95				
11 años	95	95	95		99	
9-10 años		99	99			95
4-5,6 años	99	99			95	
2-3 años	99					

99 y 95 = ciclos con dicho nivel de significación.

Tabla 3.- Periodicidades más significativas de la precipitación en España, agrupadas por zonas. Periodo de referencia: años 1400 a 1990. Los valores 95 y 99 indican su nivel de significación.

Un resumen de los mismos permite indicar que los ciclos largos asociados a bajas frecuencias presentan mayor potencia y absorben gran parte de la varianza, con una longitud total asociada a la de la serie tratada. Es frecuente encontrar ciclos próximos a los 200 y 300 años, que en la bibliografía suelen interpretarse como múltiplos del ciclo de 90-100 años observado en series climáticas europeas (Lamb, 1972). Este último ciclo próximo al siglo, aunque sin alcanzar una elevada significación, aparece en los valores reconstruidos en la zona peninsular de clima atlántico, lo que puede interpretarse como una característica más específica del clima oceánico que domina en latitudes más septentrionales.

Otros ciclos significativos son el de 70 años, interpretado como un múltiplo del de 35 años que con frecuencia se observa en series instrumentales. Otros de longitud ligeramente inferior a los 30 años parecen guardar cierta relación con las temperaturas estivales de latitudes muy septentrionales obtenidas a partir de la dendrocronología.

Las periodicidades de alta frecuencia asociadas a ciclos cortos son mucho más variadas, quizá por tener menor potencia al absorber menor varianza. El ciclo de 21-22 años se considera múltiplo del undecenal relacionado con los ciclos de actividad solar causantes de ciertas anomalías en la circulación general. Otro de los ciclos detectados es el de 17-19 años, que parece tener relación con el desplazamiento de los grandes centros anticlonales y con fenómenos de mareas atmosféricas asociadas a la rotación del polo terrestre (Larras, 1976). Finalmente cabe citar el ciclo de 2-3 años, muy frecuente en las series de los observatorios meteorológicos. Se relaciona con la Oscilación Sur (QBO) identificada con la circulación marina a gran escala en el hemisferio sur.

Una síntesis de lo observado en la tabla 3 permite deducir que en las zonas de clima atlántico, caracterizadas por una dinámica atmosférica quizá más estable y uniforme, dominan los ciclos de larga y muy corta duración (baja y alta frecuencia), mientras que en los climas de tipo mediterráneo donde confluyen masas de aire de más contrastada y variada procedencia dominan los ciclos asociados a frecuencias medias. Como hipótesis cabe plantearse si determinadas frecuencias van unidas a determinados mecanismos atmosféricos y masas de aire asociadas. Una explicación fundamentada de todo ello es compleja, y seguramente imposible de ofrecer en estos momentos, y quizá sería un



planteamiento muy simple buscar solamente causas dinámicas próximas en unos procesos que forman parte, o son la expresión, de un complejo sistema de relaciones más global.

### **Conclusiones.**

Las precipitaciones y temperaturas reconstruidas permiten afirmar que la dendrocronología constituye un método muy sólido para estudiar el clima del pasado. Respecto a otras técnicas presenta la ventaja de ser una información cuantificada de forma objetiva y con resolución anual, incluso trimestral y mensual en algunos casos, que permite realizar tratamientos estadísticos que contribuyen a caracterizar el clima pasado. Sin embargo, para el conjunto del territorio español todavía presenta el inconveniente de abarcar sólo el último milenio, dado que los árboles vivos encontrados no superan este periodo de tiempo. Cabe esperar que a partir de cronologías procedentes de maderas muertas y fósiles puedan conseguirse resultados que superen el citado periodo de tiempo.

La evolución conjunta de la lluvia y temperatura desde el siglos XIII muestran constantes alternancias de grupos de años en los que superan, o quedan por debajo, sus valores normales medios. A pesar de dichos altibajos, los siglos XIV, primera mitad del XV y buena parte del XVI marcan un amplio periodo que globalmente puede considerarse húmedo, mientras que a finales del XVI comienza un periodo en el que dominan las fases secas hasta la actualidad. La temperatura muestra también una prolongada fase fría, que arranca en el siglo XIV y se prolonga hasta el siglo XVII, con una gran persistencia durante todo el siglo XVI y una recuperación a comienzos del siglo XV que supera la tendencia general. A partir del siglo XVII las alternancias, más o menos prolongadas, se suceden hasta el siglo XX. Lógicamente, la tendencia general descrita para dichos siglos no excluyen la presencia de grupos de años en los que las variables han tenido comportamientos de signo contrario. Forman parte de la variabilidad del clima, de por sí siempre cambiante.

Los siglos XV, XVI y XVII constituyen un periodo durante el cual aconteció una gran profusión de valores anuales extremos (años secos, lluviosos, fríos, etc). Esta frecuencia contribuye a delimitar la duración y el momento de mayor intensidad de la PEG, si aceptamos que la variabilidad puede ser el rasgo climático que mejor define dicha fase.

La evolución temporal de los valores climáticos reconstruidos no muestran una tendencia persistente durante estos siglos, si acaso ligeramente positiva para la temperatura. Alternan periodos, de distinta duración, durante los cuales las condiciones tienden a ser de signo contrario. Tales alternancias se expresan en forma de ciclos de muy distinta longitud, con tendencia a que los de alta y baja frecuencia sean más evidentes en la zona de clima atlántico, y los de media frecuencia en la zona de clima mediterráneo.

#### BIBLIOGRAFÍA.

- Barriendos, M., 1994.- El clima histórico de Catalunya. Aproximación a sus características generales (siglos XV-XIX). Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, original mecanografiado, 500 p.
- Boulangier, M., Royer, J., 1975.- Les problemes generaux de la paleoclimatologie. La Météorologie, 5.
- Box, G. E. and Jenkins, G.M., 1976.- Time series analysis. Forecasting and control. Holden-Day.
- Bräker, O. and Schweingruber, F., 1984.- Standorts-Chronologien. Teil 1: Iberische Halbinsel. Publikation der Eidg. Forstl. Vers. Aust. Birmensdorf: 73 p.
- Briffa, K. and Cook, E., 1990.- Methods of response functions analysis. In: Cook, E. and Kairiukstis, L., Eds. Methods of dendroclimatology. Applications in the Environmental Sciences, 240-246. Kluwer Academic Publishers.
- Creus, J. y Puigdefábregas, J., 1976.- Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus uncinata Ramond*, Cuadernos de Investigación, 2(2), 17-30.
- Creus, J. y Puigdefábregas, J., 1983.- Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus nigra Arnold*. Avances sobre la Investigación en Bioclimatología, CSIC, Zaragoza, 121-128.
- Creus, J., 1991.- Tendencia secular de la temperatura de mayo en el Pirineo central (1302-1989). Cuadernos de Geo. Fís. (20-21): 41-49.
- Creus, J., Génova, M., Fernández, A. y Pérez, A., 1992.- New dendrochronologies for Spanish Mediterranean zone. Lundqua Report, 34:76-78.
- Creus, J., Fernández, A., 1992.- Cuantificación del clima pasado a partir de series dendrocronológicas. Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa: 393-407. Universidad de Zaragoza.
- Creus, J., Beorlegui, M. y Fernández, A., 1994.- Cambio climático en Galicia. Reconstrucción climática de las últimas centurias. Xunta de Galicia, 184 p.
- Creus, J., Beorlegui, M., 1996.- La multicolinealidad de los datos climáticos. La regresión en componentes principales. In: Modelos y Sistemas de Información Geográfica. VII Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad del País Vasco, 38-47.
- Creus, J., Fernández, A. y Manrique, E., 1996.- Evolución de la temperatura y precipitación anuales desde el año 1400 en el sector central de la Depresión del Ebro. Lucas Mallada, 8:9-27.
- Creus, J., Fernández, A. y Manrique, E., 1997.- Dendrocronología y clima del último milenio en España. Aspectos metodológicos y avance de resultados. In: Ibáñez et al, (eds). El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación. CSIC. Madrid, 478 p.
- Cook, E.R. and Kairiukstis, L.A., 1990.- Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Press, 393 p.
- Davis, J., 1986.- Statistics and data analysis in geology. Willey-Sons, 646 p.

- Díaz Pineda, F., 1996.- Sobre los factores claves de la interacción humanidad-biosfera. In: Ecología y Desarrollo. Universidad Complutense de Madrid, 178.
- Efron, B., 1979.- Bootstrap methods another look at the jackknife. *Annales of Statistics*, 7:1-26.
- Esau, K., 1982.- Anatomía de las plantas con semilla. Edt. Hemisferio Sur, Buenos Aires, 512 p.
- Fernández, A., Génova, M., Creus, J y Gutiérrez, E., 1996.- Dendroclimatological investigation for the last 300 years in Central Spain. In: Dean, J., Meko, D. and Swetnam, T, Etds. *Tree-rings, Environment and Humanity: Proceedings of the International Conference*, Tucson, Arizona. Radiocarbon: 181-190.
- Fernández, A. y Manrique, E., 1998.- Nuevas aportaciones metodológicas para la investigación del clima y del fitoclima del último milenio. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, nº 7, 19-43.
- Font, Y., 1988.- Historia del clima de España. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 297 p.
- Fritts, H., 1976.- *Tree rings and climate*. Academic Press. London, 567 p.
- Fritts, H., and Swetman, T., 1986.- *Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments*. Laboratory of Tree-Ring Research. Tucson, Arizona, 61 p.
- Génova, R., 1987.- Análisis y significado de los anillos de crecimiento de dos especies forestales: *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en la península Ibérica. Universidad de Barcelona, 491 p.
- Génova, M., 1994.- Dendroecología de *Pinus nigra Arnold* subsp *salzmannii* (Dunal) Franco y *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca (España). Universidad Autónoma de Madrid, 420 p.
- Guiot, J., Berger, A., Munaut, A., Brett, D. and Cropper, J. 1982.- Response functions. In: Hughes, M., et al. Edts. *Climate from tree-rings*, 38-49. Cambridge.
- Guiot, J., 1990.- Methods of calibration. In: Cook, E. and Kairiukstis, L., Etds. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*, 165-177. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Gutiérrez, E., 1987.- Dendrocronología de *Fagus sylvatica*, *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en Cataluña. Universidad de Barcelona, 478 p.
- Gutiérrez, E., 1989.- Dendroecological study of *fagus sylvatica* in the Montseny mountains (Spain). *Acta Ecológica*, 9, 3:301-309.
- Holmes, R., 1986.- *Dendrochronology Program Library. Guide for computer program Cofecha*, 18-22. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Aizona.
- Kaiser, K., 1991.- Tree-rings in Switzerland and other mountain regions: Late glacial through Holocene. In: Frenzel, B., eds. *Evaluation of climate proxy data in relation to the european Holocene*. 119-132, G.F. Verlag.
- Lamb, H.- 1969.- *Climatic fluctuations. World Survey of Climatology, II, General Climatology*, Flohn ed. Elsevier.
- Lamb, H., 1972.- *Climate: present, past and future. I y II*, Methuen and Co. Ltd
- LaMarche, V., Jr, Cook, E., Baillie, M., 1982.- Sampling strategies. In: Hughes, M et al Edts. *Climate from tree-rings*, 2-7, Cambridge.
- Liphshitz, N. and Lev-Yadun, S., 1986.- Cambial activity of evergreen and seasonal dimorphics around the Mediterranean. *Iawa Bulletin*, 7(2): 145-153.
- Manrique, E., 1997.- Nuevos métodos de reconstrucción dendroclimática. Aplicaciones al estudio climático y fitoclimático del último milenio. Tesis Doctoral, E.U.I.T.F. Universidad Politécnica, Madrid.
- Martín Vide, J., y Barriendos, M., 1997.- Paleometeorología: aportaciones al conocimiento de los cambios pluviométricos durante el último medio milenio en la Península Ibérica. In: J. Ibáñez, Etd. *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. CSIC, Madrid, 478 p.

- Norton, D. A. and Ogden, J., 1990.- Problems with the use of tree-rings in the study of forest population dynamics. In: Cook, E and Hairsukstis, L, Eds. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences, 284-288. Kluwer Academic Publishers, 393 p.
- Pérez, A., 1993.- Dendrocronología de *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl, *Quercus Pyrenaica* Willd, *Quercus robur* L., sus nothotaxones y *Castanea sativa* Miller en Galicia (España). Universidad Autónoma de Madrid, 483 p.
- Phister, C. 1992.- Five centuries of little ice age climatic in western Europe. In: Mikami, T. (ed). Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age climate. Tokyo Metropolitan University.
- Richter, K. y Rodríguez Tobajo, E., 1986.- El banco de datos dendrocronológicos para la península Ibérica. Hoiné, 1:66-77.
- Richter, K., 1988.- Dendrochronologische und dendroklimatologische untersuchungen und Keifern (Pinus spp.) in Spanien. Universidad de Hamburgo, 298 p.
- Schweingruber, F.H., Kairiukstis, L. and Shiyatov, S., 1990.- Sample selection. In: Cook, E., and Kairiukstis, L. Eds. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publishers, 393 p.
- Walter, H., 1977.- Zonas de vegetación y clima. Edt. Omega, Barcelona, 245 p.
- Vandaele, W., 1983.- Applied time series and Box-Jenkins models. Academic Press.
- Wilson, E., Edt. 1989.- Biodiversity. Nat. Acad. Press. Washington.