

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LOS ÚLTIMOS SIGLOS EN ESPAÑA A PARTIR DE RECONSTRUCCIONES DENDROCLIMÁTICAS. COMPARACIÓN CON LA SITUACIÓN ACTUAL

V. Candela Jurado¹, E. Manrique Menéndez¹, A. Fernández Cancio² & M. Genoveva Fuster¹

¹ E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

² Área de Selvicultura. CIFOR-INIA. Ctra. de La Coruña km. 7, s/n. 28040 Madrid.

Resumen

En este trabajo se ofrece una amplia perspectiva histórica de algunas variables climáticas y fitoclimáticas de interés, reconstruidas mediante técnicas dendroclimáticas que relacionan el grosor de los anillos de crecimiento anual de los árboles con registros conocidos de temperaturas y precipitaciones de estaciones meteorológicas españolas. Puesto que las series dendrocronológicas se remontan en algunos casos hasta el siglo XI, es posible estimar los valores de las variables climáticas más interesantes en un intervalo de tiempo próximo al milenio. El estudio de la variabilidad y de las tendencias del pasado suministra información de gran interés para analizar las condiciones climáticas y fitoclimáticas actuales, en las que parecen detectarse pautas de cambio climático.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos dendroclimáticos permiten la reconstrucción climática del último milenio en un conjunto de lugares significativos de nuestro país, permitiendo detectar espacial y temporalmente las anomalías climáticas habidas en dicho intervalo y su comparación con la situación actual y el análisis de las

expectativas sobre la evolución futura del clima y de sus posibles cambios. Además, a través de la fitoclimatología puede establecerse el marco mediante el cual pueden comprenderse los impactos del clima sobre la vegetación natural, con la misma extensión espacial y temporal.

Las nuevas orientaciones metodológicas que se utilizan (FERNÁNDEZ CANCIO & MANRIQUE, 1998) surgen de la observación de que las posibilidades de reconstrucción climática estaban limitadas por el relativamente pequeño número de variables climáticas significativas reconstruibles y la longitud limitada de las series locales en muchas estaciones. Este intervalo, claramente insuficiente, se ve considerablemente ampliado cuando se modifican los criterios para la selección de las series dendrocronológicas que se utilizan en la reconstrucción de cada variable climática. El criterio ahora no es tanto la proximidad geográfica sino la correlación significativa, permitiendo así el incremento del número de variables y su extensión temporal, con mayor fiabilidad estadística.

Tratando de poner de manifiesto la variabilidad climática, se estudian los desplazamientos respecto de la media de las variables climáticas analizadas. Este punto de vista permite considerar conjuntamente zonas muy

dispares entre sí, con altitudes y características fitológicas muy distintas. Se tratará de analizar de forma especial las sequías y las fases de mayor pluviometría con sus períodos de recurrencia, así como los que corresponden a las temperaturas. Estos hechos se comparan con el actual proceso climático, observando si las actuales tendencias permanecen o no dentro del rango de variabilidad natural del milenio y si es posible hablar de cambio climático en este sentido.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se dispone de unas 1500 muestras (calibradas y contrastadas) que suelen ser suficientes, aplicando los nuevos métodos, para garantizar que muchas variables reconstruidas tengan una señal homogénea a partir del siglo XIV, lo que no reduce la validez de los resultados obtenidos en siglos anteriores. En España las especies más longevas son coníferas del género *Pinus*, superando los 900 años en *Pinus nigra* sp. *Salzmannii*, los 450 en *Pinus sylvestris* y los 690 en *Pinus uncinata*. No se descarta el muestreo en especies de los géneros *Quercus* y *Fagus*, disponiéndose de muestras de casi 500 años en *Q. petraea* y *Q. pyrenaica*, aunque la edad normal es de unos 200 años.

La metodología habitual de reconstrucción dendroclimática FRITTS (1976) utiliza series de anillos próximas a la estación que se quiere estudiar. Así se han elaborado diversas cronologías locales de toda la península (PÉREZ ANTELO, 1993; CREUS et al., 1994; FERNÁNDEZ-CANCIO et al., 1996). Sin embargo, es un hecho que variables climáticas de lugares muy lejanos dentro del país alcanzan correlaciones muy elevadas, sobre todo para la temperatura, y que las series individuales de anillos tienen con frecuencia correlaciones importantes, que se hacen evidentes si se las somete al proceso de sincronización (GÉNOVA, 1994). Por esto la señal macroclimática peninsular, de extensión geográfica superior a la local, puede tener un papel importante en las reconstrucciones dendroclimáticas. Además, se ha verificado que los árboles responden de distinta forma, pudiendo

ocurrir que en un mismo bosque haya ejemplares que recojan información de una estación relativamente alejada y no de una próxima.

Todo esto ha llevado a una modificación metodológica que no considera la proximidad geográfica como argumento esencial, y que se basa en un método de selección y clasificación por correlación entre cada muestra dendrocronológica (con varios tipos de filtros estocásticos) y cada variable climática de cada estación meteorológica. Se utilizan todas las muestras de calidad con más de 200 años y el programa PRECON (FRITTS, 1994), para la reconstrucción mediante modelos multilineales sobre componentes principales. Todas las pruebas realizadas permiten afirmar que las variables climáticas analizadas (temperaturas y precipitaciones anuales y trimestrales, 10 variables en 217 estaciones) encuentran una respuesta macroclimática en algún conjunto de árboles del país, siendo las variables térmicas en general más fiables que las pluviométricas.

En este trabajo se estudian las zonas central y meridional de España (CANDELA et al., 1999). Una vez reconstruidas las variables, se calcula la media y la desviación típica en el milenio, para su posterior tipificación, permitiendo así realizar un análisis conjunto, independientemente de las condiciones de cada zona (CANDELA, 2000). El frío ó calor, lluvia o sequía de cada año, respecto a las condiciones medias, viene dado por el signo de la variable tipificada (-/+).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez aplicado el método de reconstrucción dendroclimática en las estaciones seleccionadas se han obtenido las 10 variables climáticas ya mencionadas, con resolución anual, desde 1050 hasta 1997. Las correspondientes variables tipificadas tienen valores positivos o negativos, según estén por encima o por debajo de la media del milenio, indicando de este modo si la estación, en el año considerado, es más lluviosa, más seca, etc. que la media de dicha estación en el milenio. Los resultados anuales de cada esta-

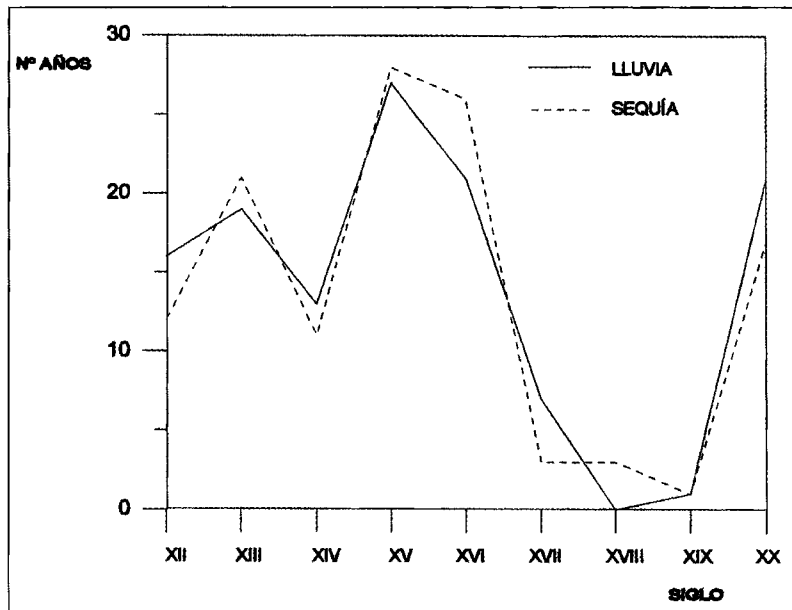


Figura 1. Número de años lluviosos y secos en cada siglo, con valores de intensidad $S+/N+$ y $S-/N-$ mayores o iguales a 1.00, en valor absoluto

ción se han representado sobre el mapa de la Península, realizando un proceso de interpolación del tipo krigging que permite convertir los puntos discretos en curvas de nivel (figura 3. Se observa en color en la pág. 131).

Con el fin de estudiar la frecuencia anual de aparición de una determinada circunstancia climática, se han contabilizado estaciones con valores positivos o negativos de la variable tipificada, expresando el resultado como porcentaje positivo o negativo.

Por otro lado, para cada tipo de variable y en cada año, se ha obtenido la suma de las variables positivas ($S+$), y la de las negativas ($S-$), y se han dividido por el número de estaciones positivas ($N+$) y negativas ($N-$) respectivamente. De esta forma, se han obtenido nuevos valores en cada año y para cada tipo de variable, $S+/N+$ y $S-/N-$ que son una medida de la desviación de la variable considerada respecto a la media del milenio y se pueden tomar como una medida de la intensidad del calor, del frío, de la sequía o de la precipitación.

La figura 1 representa en cada siglo el número de años más secos o más lluviosos, considerando sólo los que tienen valores de $S+/N+$ y $S-/N-$ iguales o mayores de 1.00 (en valor absoluto). Del mismo modo, la figura 2 representa el número de años más calurosos y

más fríos en cada siglo. Puede verse en ambas que durante el siglo XV y el XVI hubo un número importante de años en los que las condiciones térmicas y pluviométricas fueron rigurosas, coincidiendo con la Pequeña Edad Glacial sufrida en la Península. Además, el número de años muy lluviosos es muy similar al de años muy secos, siendo asimismo el número de años muy fríos similar al de años muy cálidos, por lo que se puede concluir que hubo una gran variabilidad climática, pasando de un extremo a otro frecuentemente.

También el siglo XIII padeció años con condiciones climáticas rigurosas, aunque en menor medida que los anteriores. Por el contrario, los siglos XVIII y XIX se caracterizan por su bondad climática, y, por último, parece que hay de nuevo un aumento importante de años con clima extremo en lo relativo a la precipitación y a la temperatura en el siglo XX, con circunstancias análogas a los de los siglos XV o XVI. Es de destacar que en el siglo XX se está produciendo la máxima diferencia entre el número de años calurosos y fríos, a favor de un aumento de las temperaturas, es decir, apuntando hacia un posible cambio climático.

A modo de resumen, la tabla 1 muestra los valores obtenidos en todos los siglos, teniendo en cuenta que las columnas relativas al

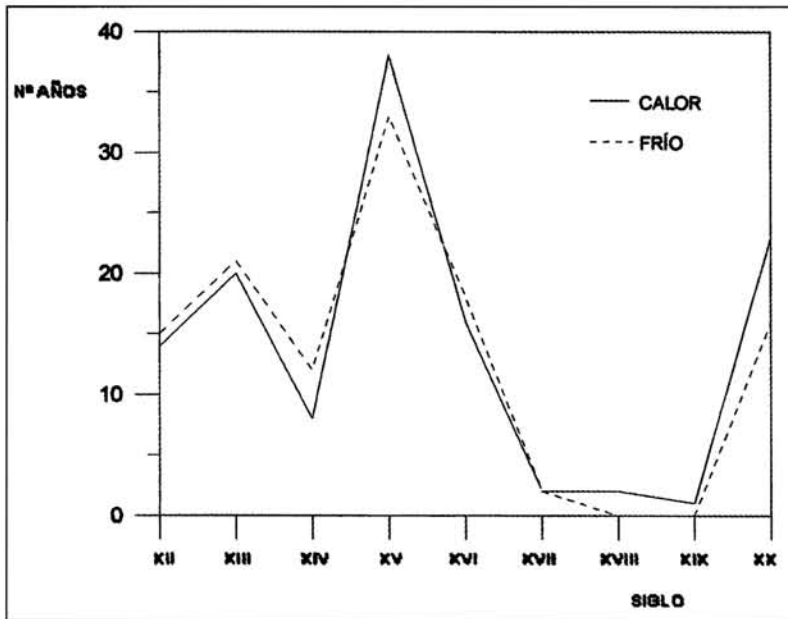


Figura 2. Número de años calurosos y fríos en cada siglo, con valores de intensidad S+/N+ y S-/N- mayores o iguales a 1.00, en valor absoluto

número de años contabilizan los que tienen más del 50% de las estaciones con la variable del mismo signo. Puede verse que los siglos XII, XIV y XIX son los que tienen mayor número de años lluviosos; el siglo XX, seguido del XVIII, el mayor número de años secos; el XV, seguido de los siglos XII y XX, el mayor número de años cálidos; y los siglos XVI y XIX, el mayor número de años fríos.

Los resultados expuestos son coincidentes con otros trabajos dendroclimáticos y dendrocronológicos sobre condiciones extremas, realizados con otros puntos de vista (GÉNOVA, 2000; MANRIQUE & FERNÁNDEZ CANCIO, 2000). Por otra parte, estas reconstrucciones son comparables a otras elaboradas para determinar subtipos fitoclimáticos, pues según se ha demostrado (PEREIRA *et al.*, 1997; MANRIQUE & FERNÁNDEZ CANCIO, 1999) las condiciones fitoclimáticas fueron especialmente críticas en épocas que aquí aparecen como tales, con presencia de anomalías y salidas de ámbitos.

En definitiva, el estudio realizado ofrece una completa perspectiva del clima del milenio, utilizando una fuente de gran precisión que se encuentra en los anillos de los árboles. Los valores obtenidos son una interesante fuente de información que permite analizar circunstancias climáticas acaecidas en otros tiempos, con el fin de abordar estudios de muy diversa índole como fitoclimáticos, ecológicos, históricos, etc.

La comparación con datos históricos sobre el clima en España e incluso en Europa ofrece resultados razonablemente compatibles. Como es natural, aparecen pequeños desfases en ciertas épocas y un cierto adelanto de las condiciones más extremas de la P.E.G. respecto a las noticias históricas de ese periodo.

Tabla 1. Resumen por siglos. El número de años en cada categoría contabiliza aquellos en los que más de la mitad de las estaciones tienen mismo signo

SIGLO	Nº años lluviosos	Nº años secos	Nº años cálidos	Nº años fríos
XI	23	27	31	19
XII	51	45	52	45
XIII	49	46	45	53
XIV	50	48	51	48
XV	48	50	58	41
XVI	46	50	40	56
XVII	45	48	49	51
XVIII	46	53	51	46
XIX	54	42	42	55
XX	39	58	52	45

4. CONCLUSIONES

La metodología dendroclimática utilizada, basada en la elección de las mejores series dendrocronológicas para cada variable climática y fitoclimática, permite su reconstrucción con gran fiabilidad y extensión temporal. El análisis se efectúa sobre valores tipificados, para destacar los cambios respecto a la media del milenio y clasificar los años como fríos/cálidos o secos/lluviosos, con criterios estadísticos.

Del estudio de los valores obtenidos se deduce que los años con fríos y calores más rigurosos, o precipitaciones y sequías más intensas se concentran en los siglos XV y XVI, coincidiendo con la Pequeña Edad Glacial padecida en la Península. Por otra parte, los siglos con menor número de sucesos extremos son el XVIII y el XIX. En los últimos tiempos, es decir, en el siglo XX, se observa un notable incremento de la variabilidad, similar a lo que ocurrió en los siglos XV y XVI, lo que parece indicar un recrudecimiento de las condiciones climáticas adversas.

5. BIBLIOGRAFÍA

CANDELA, V., MANRIQUE, E. & FERNÁNDEZ-CANCIO, A.; 1999. Dendroclimatic Reconstruction of Central and Southern Spain. 42nd Annual Symposium of the IAVS (comunicación). Bilbao.

CANDELA, V.; 2000. *Reconstrucción dendroclimática de las zonas Central y Meridional de España. Análisis espacio-temporal*. Tesis Doctoral U.P.M. (inérita), Madrid, 497 pp.

CREUS, J., BEORLEGUI, M., FERNÁNDEZ-CANCIO, A. & GÉNOVA, M.; 1994. Reconstrucción de la temperatura de Abril en el sur de Galicia desde mediados del s. XVII. Aplicación de la metodología dendroclimática. *Perfiles actuales de la Geografía cuantitativa en España*: 61-71.

FERNÁNDEZ-CANCIO, A., GÉNOVA, M., CREUS, J., GUTIÉRREZ, E.; 1996. Dendroclimatological Investigation for the Last 300-400 Years in Central Spain. *Radiocarbon*: 181-190.

FERNÁNDEZ-CANCIO, A. & MANRIQUE, E.; 1998. Nuevas aportaciones metodológicas para la investigación del clima y del fitoclima del último milenio. *Cuadernos de la SECF*, nº 7: 19-44.

FRITTS H.C.; 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London, New York, San Francisco: 567 pp.

FRITTS, H.C.; 1994. PRECONK.DOC precon file for user manual: Quick help for PRECON now called PRECONCK, Version 4.0. Computer file.

GÉNOVA FUSTER, M.; 1994. Dendroecología de *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmanii* (D) Franco y *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central y en la Serranía de Cuenca (España). Tesis Doctoral U.A.M. (inérita), Madrid, 460 pp.

GÉNOVA FUSTER, M.; 2000. Años característicos en diversas cronologías del Sistema Central (España) durante los últimos 400 años. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.* (en prensa).

MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; FERNÁNDEZ-CANCIO, A.; 1999. Estudio fitoclimático de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. Fuera de Serie nº 1: 75-91.

MANRIQUE, E. & FERNÁNDEZ-CANCIO, A.; 2000. Extreme Climatic Events in Dendroclimatic Reconstructions from Spain. *Climatic Change*. 44/1-2: 123-138.

PEREIRA SEGADOR, I.; FERNÁNDEZ-CANCIO, A.; MANRIQUE MENÉNDEZ, E.; 1997 Estudio fitoclimático de los sabinares de *Juniperus thurifera* L. y de su evolución en los últimos 500 años. *Libro de actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati*. Volumen: II.105-110.

PÉREZ ANTELO, A.; 1993. Análisis de una cronología de *Castanea sativa* Mill. obtenida en la finca de Val de Fernando (Lalín, Pontevedra). Comparación con otras cronologías gallegas de *Quercus sp.* *Actas del Congreso Forestal Español Lourizan-1993 Tomo I*: 111-116.