

# RECONSTRUCCIONES DENDROCLIMÁTICAS EN ESPAÑA. COMPARACIÓN CON DATOS HISTÓRICOS

V. CANDELA (1); A. FERNÁNDEZ-CANCIO (2); E. MANRIQUE (1)

(1) E.U.I.T.Forestal, U.P.M., Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid.

(2) CIFOR-INIA. Ctra. de la Coruña s/n km 7. 28040 Madrid.

## RESUMEN

La reconstrucción de diferentes variables climáticas mediante métodos dendroclimáticos proporciona una detallada perspectiva del clima del pasado. La metodología utilizada en este trabajo relaciona el grosor de los anillos de crecimiento anual de los árboles con los registros conocidos del clima, permitiendo obtener valores anuales, trimestrales e incluso mensuales de las variables climáticas. Los resultados se centrarán aquí en el análisis de la precipitación anual y de la temperatura media anual, variables que han sido reconstruidas en las zonas central y meridional de España en un intervalo de tiempo considerablemente amplio, pues abarca prácticamente el último milenio. La comparación posterior con los datos históricos existentes sobre el clima peninsular e incluso el europeo, ha permitido confirmar los resultados obtenidos, ofreciendo en algunos casos importantes coincidencias, como por ejemplo en el periodo conocido como Pequeña Edad Glacial.

**P.C.:** Dendroclimatología, Climatología Histórica, Pequeña Edad Glacial

## SUMMARY

The reconstruction of different climatic variables by means of dendroclimatic methods provides a detailed perspective of the climate of the past. The methodology used in this work relates annual rings-widths of the trees with climatic records, allowing to obtain annual, seasonal and monthly values of the climatic variables. The results will be focused on the analysis of annual precipitation and annual mean temperature, variables that have been reconstructed in the Central and Southern parts of Spain in a considerably wide interval of time that covers the last millennium. The comparison with the existent historical data on the peninsular climate and even the European, allows to confirm the results, offering in some cases important coincidences, as for example in the period known as Little Ice Age.

**K.W.:** Dendroclimatology, Climatic History, Little Ice Age

## INTRODUCCIÓN

Los anillos de crecimiento anual de los árboles constituyen un registro de gran interés por sí mismo, debido a la elevada longevidad de algunos ejemplares, que en nuestro país se aproxima al milenio. El grosor de estos anillos está condicionado por múltiples factores, tanto internos como externos, entre los que el clima juega un papel fundamental. Cuando se pueden establecer relaciones matemáticas entre el grosor de estos anillos y algunas variables climáticas, es posible, con las debidas precauciones, extender los modelos hacia el pasado y obtener reconstrucciones climáticas de muchos siglos, con resolución anual. Como es lógico, los modelos deben validarse con los datos conocidos, a fin de conocer su fiabilidad y el margen de error cometido en las estimaciones.

Las metodologías de reconstrucción climática basadas en la función de transferencia (Fritts, 1976) son bien conocidas desde hace mucho tiempo, habiéndose aplicado en todo el mundo para los estudios paleoclimáticos. Para realizar este tipo de estudios en nuestro país se ha aprovechado la existencia de elevadas correlaciones entre las variables climáticas y las series dendrocronológicas de la península, lo que permite hacer un estudio global de las señales macroclimáticas, siempre dentro de estrictos criterios de significación estadística. Aunque no existan muestras de árboles cercanos, la componente macroclimática puede reconstruirse con elevada fiabilidad en casi cualquier punto del territorio, con un aumento también considerable en la extensión temporal, que se remonta a la edad de los árboles más viejos, casi un milenio en *Pinus nigra* de Cazorla.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La base de partida está formada por más de 1000 muestras de árboles, tomadas a lo largo de todo el territorio por diversos dendrocronólogos (PÉREZ-ANTELO, 1993; GÉNOVA *et al.* 1993; CREUS *et al.* 1994; FERNÁNDEZ CANCIO *et al.* 1996), que las han sometido a los procesos de lectura, datación y sincronización. Un paso importante es el de la estandarización, que elimina la señal no climática mediante diferentes filtros. Las series así elaboradas se han estudiado, junto con cada variable climática de cada estación meteorológica, mediante correlación simple. Sólo aquellas series y aquellos filtros de estandarización que tienen correlación significativa con la variable son utilizadas para el resto del proceso. Los modelos para la obtención de valores climáticos se elaboran mediante regresión múltiple sobre componentes principales, utilizando el programa Precon (FRITTS, 1994), y su extensión hacia atrás en el tiempo permite la reconstrucción climática de muchos siglos, con elevada fiabilidad (FERNÁNDEZ-CANCIO & MANRIQUE, 1997). Todo este proceso se ha aplicado a 217 estaciones de las zonas central y meridional de España, obteniéndose una amplia colección de variables climáticas y fitoclimáticas (CANDELA *et al.* 2001), de la que se han seleccionado para este trabajo la temperatura media y la precipitación anual.

Por otro lado, se ha recurrido a diversas fuentes de datos climáticos históricos, a fin de efectuar una comprobación independiente de la fiabilidad de las reconstrucciones. Los datos históricos tienen diversas peculiaridades que dificultan la comparación con las reconstrucciones dendroclimáticas, debido a su muy diferente naturaleza. Los datos históricos utilizados han sido tomados de diversas fuentes, como, por ejemplo, recopilaciones de eventos climáticos (FONT TULLOT 1987; FONTANA, 1974), datos sobre rogativas *pro pluvia* de varios siglos (MARTÍN VIDÉ & BARRIENDOS, 1995), reconstrucciones basadas en índices pluviométricos (RODRIGO *et al.* 1994), publicaciones del INM que recogen datos de pluviometría desde finales del siglo XVIII en algunas estaciones y por supuesto, datos históricos sobre otras zonas europeas (PFISTER *et al.* 1996). La comparación se ha realizado cualitativamente, comparando los datos dendroclimáticos y las noticias históricas de años, décadas y siglos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las reconstrucciones dendroclimáticas están resumidos en la tabla 1, en la que se analizan, por décadas, la precipitación y la temperatura desde el año 1050 hasta nuestros días. El criterio de clasificación en frío/cálido o lluvioso/seco es el más sencillo posible, calculando el porcentaje de estaciones que se encuentran por encima o por debajo de su respectiva media, y mostrando los valores resumen para cada década. A continuación se presentan los resultados de cada uno de los siglos.

En el siglo XI, los valores dendroclimáticos de la precipitación y de la temperatura muestran una época principalmente seca y cálida, habiendo escasas noticias relativas al clima en este período. Durante el siguiente siglo se mantiene la tendencia a las temperaturas moderadas pero cambian las tendencias en la precipitación, indicando una época lluviosa.

Durante el siglo XIII se alternan períodos fríos y cálidos, iniciándose con un período frío entre 1204-23, seguido de los períodos 1224-43 (cálido), 1244-56 (frío), 1257-72 (cálido) y 1272-1300 (frío). Los años más secos suelen a la vez los más calurosos, y, por el contrario, los más fríos coinciden con los más lluviosos, obteniéndose aproximadamente cada 25 años una sequía intensa y general en toda la zona estudiada. El año 1202 es uno de los más lluviosos del siglo, estando citado el año anterior (1201) en las fuentes históricas como uno de los de más alta pluviosidad. Por otra parte, existen pocas referencias históricas relativas a la temperatura de este período, si bien se mencionan los inviernos de 1212-13 como los más fríos en ambas Mesetas, hecho que coincide con los resultados dendroclimáticos para el invierno, la primavera y el verano de 1213.

Los resultados obtenidos en las reconstrucciones dendroclimáticas del siglo XIV muestran que fue un período moderado con la excepción de algún año en que las condiciones climáticas fueron algo más extremas. Esta conclusión concuerda con las noticias climáticas existentes, encontrándose además interesantes puntos en común, como por ejemplo, en los años 1303, 1304 y 1333 que fueron de los más secos del siglo, destacando especialmente el año 1304.

Las temperaturas que se obtienen en el siglo XV indican que se trata de un período cálido aunque, a diferencia del anterior, con gran variabilidad climática. Estos datos coinciden con las noticias históricas sobre dicha época. Analizando con más detalle algunas regiones, se puede destacar que en la zona levantina se ha obtenido un total de 63 años cálidos, situándose los inviernos más fríos

en los periodos de 1435-1445 y 1458-1469. Estos resultados coinciden con las noticias relativas al clima del siglo XV, generalmente cálido en esta región, aunque existieron olas de frío intenso en 1442 y en enero de 1447. Más coincidencias a destacar en otras zonas son los fríos inviernos que obtenemos en la zona Centro entre 1435-1446 y 1465-1469, y el año 1466 en Andalucía occidental y el Sistema Penibético, habiendo noticias sobre severos inviernos en las Mesetas en los años 1434-35 y 1465-66, y entre 1465 y 1466 en Andalucía. Por otro lado, respecto a los resultados pluviométricos obtenidos en el siglo XV, se puede concluir que la frecuencia de lluvias generalizadas abarcando la mayor parte de la Península fue escasa, observándose una gran variabilidad de precipitaciones y sequías en un mismo año.

Las reconstrucciones del siglo XVI muestran la existencia de un período notablemente frío entre 1504-1539, que termina en 1540 (el año más caluroso del siglo). Este hecho coincide espectacularmente con las noticias de fríos intensos hasta 1540, año en el que se inicia una recuperación térmica. En la tabla 2 se muestran los resultados de las temperaturas anuales obtenidas durante este período. Por otra parte, se alternan lluvias y sequías, circunstancia similar a la del siglo anterior, pero de mayor intensidad, obteniéndose los valores más altos entre los reconstruidos. La fuerte sequía obtenida en determinados años, podría justificar el notable incremento en la celebración de rogativas *pro pluvia* según evidencian los registros históricos (MARTÍN VIDÉ & BARRIENDOS, 1995). En general, la existencia de este tipo de valores extremos ha quedado evidenciada en otros trabajos dendroclimáticos (MANRIQUE & FERNÁNDEZ CANCIO, 2000).

Durante el siglo XVII las temperaturas se suavizan notablemente respecto a las del periodo anterior, disminuyendo así mismo la intensidad de las lluvias y las sequías. Se obtiene un mayor número de veranos y primaveras lluviosas, hecho coincidente con las noticias relativas a un aumento en la frecuencia de temporales estivales.

En el siglo XVIII las noticias relativas a las condiciones climáticas coinciden con los valores reconstruidos de temperaturas y precipitaciones, de carácter suave en este período. El siguiente siglo se puede considerar de clima moderado, destacando la existencia de abundantes noticias de ceremonias *pro pluvia* en Cataluña, que aumentan desde comienzos de siglo hasta 1830, adquiriendo mayor intensidad desde 1850. Aunque en esta zona no se han reconstruido variables climáticas, se obtienen considerables sequías en la región levantina en el período comprendido entre los años 1801 a 1812, dándose los períodos de sequía más pertinaz en las décadas de los 50 y 70.

Los registros climáticos del siglo XX indican una gran variabilidad y un notable recrudescimiento general del clima con elevadas temperaturas y fuertes sequías, siendo también notable las bajas temperaturas o las lluvias de algunos años. Esta característica del siglo XX es comparable a los resultados obtenidos durante los siglos XV y XVI, donde la gran variabilidad climática observada no sólo en el mismo año, sino de forma interanual, hace pensar que la Pequeña Edad Glacial en la Península se caracterizó por su gran variabilidad climática.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado un método dendroclimático de alta fiabilidad para reconstruir la temperatura media y la precipitación anual de más de 200 estaciones meteorológicas de las zonas central y meridional del país. Después de clasificar los años, las décadas y los siglos en fríos/cálidos y secos/lluviosos, se ha procedido a comparar esta información con la obtenida de registros históricos de diversa procedencia. Las coincidencias son muy importantes, sobre todo en periodos de alta variabilidad climática como los que corresponden a la Pequeña Edad Glacial, y especialmente los siglos XV y XVI.

## BIBLIOGRAFIA

CANDELA, V.; MANRIQUE, E.; FERNÁNDEZ-CANCIO, A. & GÉNOVA, M.; (2001). Análisis

de la variabilidad climática de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. Comparación con la situación actual. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* (en prensa).

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.

FERNANDEZ-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.; (1997). *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes*. Madrid. 140 p.

FONT TULLOT, I.; (1987). *Historia del Clima en España*. Madrid. Instituto Nacional de Meteorología: 297 p.

FONTANA TARRATS, J.M. (1974). El clima del pasado en España (Inédito).

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

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., FERNÁNDEZ CANCIO, A. & CREUS NOVAU, J.; (1993). Diez Series Medias de Anillos de Crecimiento en los Sistemas Carpetanos e Ibérico. *Investigación Agraria INIA. Vol 2*: 136-151.

MANRIQUE E. & FERNÁNDEZ-CANCIO A.; (2000). Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain. *Climatic Change*, 44/1-2: 123-138.

MARTÍN-VIDE, J.; & BARRIENDOS VALLVÉ, M.; (1995). The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain). *Climatic Change*, 30: 201-221.

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.

PFISTER, C., SCHWARZ-ZANETTI, G. & WEGMANN, M.; (1996). Winter severity in Europe: The fourteenth century. *Climatic Change* 34: 91-108.

RODRIGO, F.S. & ESTEBAN PARRA, M.J.; (1994). An attempt to reconstruct the rainfall regime of Andalusia (Southern Spain) from 1601 A.D. to 1650 A.D. using historical documents. *Climatic Change* 27: 397-418.

**Tabla 1**

Porcentaje medio de estaciones (%)	Porcentaje medio de estaciones (%)
------------------------------------	------------------------------------

	Lluvia	Sequía	Calor	Frío	Década	Lluvia	Sequía	Calor	Frío
--	--------	--------	-------	------	--------	--------	--------	-------	------

Década									
<b>1051-60</b>	53.4	46.6	48.9	51.1	<b>1521-30</b>	53.1	46.9	35.9	64.1
<b>1061-70</b>	46.2	53.8	54.9	45.1	<b>1531-40</b>	46.9	53.1	38.8	61.2
<b>1071-80</b>	49.7	50.3	48.5	51.5	<b>1541-50</b>	47.1	52.9	50.0	50.0
<b>1081-90</b>	49.4	50.6	45.8	54.2	<b>1551-60</b>	48.1	51.9	52.3	47.7
<b>1091-00</b>	47.6	52.4	61.3	38.7	<b>1561-70</b>	50.4	49.6	44.5	55.5
<b>1101-10</b>	52.4	47.6	49.8	50.2	<b>1571-80</b>	52.2	47.8	46.2	53.8
<b>1111-20</b>	49.6	50.4	40.0	60.0	<b>1581-90</b>	47.2	52.8	51.7	48.3
<b>1121-30</b>	52.5	47.5	40.5	59.5	<b>1591-00</b>	43.5	56.5	61.3	38.7
<b>1131-40</b>	42.6	57.4	58.7	41.3	<b>1601-10</b>	59.6	40.4	53.5	46.5
<b>1141-50</b>	55.6	44.4	40.5	59.5	<b>1611-20</b>	52.9	47.1	48.5	51.5
<b>1151-60</b>	53.1	46.9	39.8	60.2	<b>1621-30</b>	51.6	48.4	59.6	40.4
<b>1161-70</b>	53.2	46.8	53.6	46.4	<b>1631-40</b>	48.3	51.7	48.2	51.8
<b>1171-80</b>	50.7	49.3	63.5	36.5	<b>1641-50</b>	49.0	51.0	52.6	47.4
<b>1181-90</b>	48.3	51.7	50.7	49.3	<b>1651-60</b>	48.3	51.7	50.7	49.3
<b>1191-00</b>	45.8	54.2	58.6	41.4	<b>1661-70</b>	39.7	60.3	49.9	50.1
<b>1201-10</b>	58.5	41.5	49.2	50.8	<b>1671-80</b>	56.5	43.5	35.7	64.3
<b>1211-20</b>	55.1	44.9	39.1	60.9	<b>1681-90</b>	50.8	49.2	46.2	53.8
<b>1221-30</b>	49.1	50.9	56.5	43.5	<b>1701-10</b>	52.5	47.5	56.9	43.1
<b>1231-40</b>	49.6	50.4	60.1	39.9	<b>1711-20</b>	47.9	52.1	48.4	51.6
<b>1241-50</b>	49.3	50.7	41.2	58.8	<b>1721-30</b>	49.3	50.7	58.0	42.0
<b>1251-60</b>	49.1	50.9	56.6	43.4	<b>1731-40</b>	48.0	52.0	50.1	49.9
<b>1261-70</b>	54.6	45.4	58.0	42.0	<b>1741-50</b>	48.3	51.7	55.3	44.7
<b>1271-80</b>	45.2	54.8	42.8	57.2	<b>1761-70</b>	50.6	49.4	48.2	51.8
<b>1281-90</b>	46.1	53.9	41.1	58.9	<b>1771-80</b>	52.9	47.1	48.5	51.5
<b>1291-00</b>	52.2	47.8	46.7	53.3	<b>1781-90</b>	47.7	52.3	37.7	62.3
<b>1301-10</b>	46.8	53.2	44.7	55.3	<b>1791-00</b>	48.8	51.2	51.1	48.9
<b>1311-20</b>	53.8	46.2	46.1	53.9	<b>1801-10</b>	45.1	54.9	58.1	41.9
<b>1321-30</b>	48.9	51.1	46.1	53.9	<b>1811-20</b>	51.9	48.1	53.6	46.4
<b>1331-40</b>	55.5	44.5	54.7	45.3	<b>1821-30</b>	47.7	52.3	49.9	50.1
<b>1341-50</b>	46.1	53.9	52.1	47.9	<b>1831-40</b>	52.6	47.4	40.7	59.3
<b>1351-60</b>	44.4	55.6	59.7	40.3	<b>1841-50</b>	53.6	46.4	41.7	58.3
<b>1361-70</b>	46.8	53.2	60.1	39.9	<b>1851-60</b>	55.5	44.5	47.5	52.5
<b>1371-80</b>	49.6	50.4	45.6	54.4	<b>1861-70</b>	48.0	52.0	50.4	49.6
<b>1381-90</b>	52.6	47.4	43.2	56.8	<b>1871-80</b>	54.7	45.3	38.2	61.8
<b>1391-00</b>	52.2	47.8	54.4	45.6	<b>1881-90</b>	53.3	46.7	46.1	53.9
<b>1401-10</b>	52.1	47.9	55.5	44.5	<b>1891-00</b>	53.9	46.1	51.0	49.0
<b>1411-20</b>	46.6	53.4	57.3	42.7	<b>1901-10</b>	53.4	46.6	37.6	62.4
<b>1421-30</b>	50.7	49.3	56.9	43.1	<b>1911-20</b>	45.8	54.2	47.8	52.2
<b>1431-40</b>	52.1	47.9	40.2	59.8	<b>1921-30</b>	44.5	55.5	53.9	46.1
<b>1441-50</b>	49.2	50.8	53.9	46.1	<b>1931-40</b>	52.3	47.7	49.6	50.4
<b>1451-60</b>	50.7	49.3	49.0	51.0	<b>1941-50</b>	44.0	56.0	54.8	45.2
<b>1461-70</b>	43.8	56.2	47.7	52.3	<b>1951-60</b>	49.1	50.9	46.3	53.7
<b>1471-80</b>	50.0	50.0	59.0	41.0	<b>1961-70</b>	46.7	53.3	59.7	40.3
<b>1481-90</b>	47.8	52.2	49.8	50.2	<b>1971-80</b>	53.1	46.9	26.5	73.5
<b>1491-00</b>	51.6	48.4	66.1	33.9	<b>1981-90</b>	34.8	65.2	71.5	28.5
<b>1501-10</b>	53.0	47.0	52.3	47.7	<b>1991-97</b>	43.7	56.3	65.7	34.3
<b>1511-20</b>	48.0	52.0	39.0	61.0					

Resumen de resultados dendroclimáticos por décadas, de 1051 a 1997. En oscuro se marcan los valores que superan el 50%

**Tabla 2**

<b>AÑO</b>	<b>%+</b>	<b>%-</b>	<b>AÑO</b>	<b>%+</b>	<b>%-</b>
<b>1501</b>	80	20	<b>1521</b>	19	81
<b>1502</b>	63	37	<b>1522</b>	18	82
<b>1503</b>	55	45	<b>1523</b>	32	68
<b>1504</b>	47	53	<b>1524</b>	50	50
<b>1505</b>	46	54	<b>1525</b>	31	69
<b>1506</b>	33	67	<b>1526</b>	59	41
<b>1507</b>	53	47	<b>1527</b>	41	59
<b>1508</b>	55	45	<b>1528</b>	26	74
<b>1509</b>	51	49	<b>1529</b>	33	67
<b>1510</b>	40	60	<b>1530</b>	50	50
<b>1511</b>	35	65	<b>1531</b>	32	68
<b>1512</b>	48	52	<b>1532</b>	39	61
<b>1513</b>	40	60	<b>1533</b>	31	69
<b>1514</b>	55	45	<b>1534</b>	20	80
<b>1515</b>	37	63	<b>1535</b>	16	84
<b>1516</b>	42	58	<b>1536</b>	47	53
<b>1517</b>	31	69	<b>1537</b>	39	61
<b>1518</b>	26	74	<b>1538</b>	48	52
<b>1519</b>	47	53	<b>1539</b>	47	53
<b>1520</b>	29	71	<b>1540</b>	69	31

Porcentaje de estaciones con temperatura media anual por encima (%+) o por debajo (%-) de la media, en las 4 primeras décadas del siglo XVI. En oscuro se marcan los valores que superan el 50%