

**RECONSTRUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ABRIL EN EL SUR DE  
GALICIA DESDE MEDIADOS DEL s. XVII.  
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DENDROCLIMÁTICA.**

José CREUS NOVAU  
Martín BEORLEGUI ZOZAYA  
*Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Jaca (Huesca)*  
Angel FERNÁNDEZ CANCIO  
*CIT - INIA, Madrid*  
Mar GÉNOVA FUSTER  
*EUITF, Madrid*

**RESUMEN:** La reconstrucción de la temperatura media de abril en Carballino (Orense) se realiza con dos series de anillos: Invernadeiro (Orense) y Ancares (Lugo). Una se remonta al año 1650 A.D. y la otra a 1562 A.D.

**ABSTRACT:** The reconstruction of april mean temperature from Carballino (Orense) was done on the basis of two ring-width series: Invernadeiro (Orense) and Ancares (Lugo). The first one dating back to A.D. 1650 and the other to 1562 A.D.

**INTRODUCCIÓN.**

Se sabe que el clima varía continuamente y que además lo hace de múltiples maneras: bajo forma de tendencias seculares más o menos acusadas, oscilaciones alrededor de una media, cambios bruscos y acentuados, etc. Tales procesos, al operar en todas las escalas de tiempo (milenios, un año para otro, etc.) presentan una gran complejidad, con frecuencia de difícil explicación. Por este motivo se han propuesto muchas teorías y se han construido modelos muy sofisticados que tratan de reproducir dichas variaciones (RASMUSSEN, 1990). La fuente de información que utilizan, incluso para la validación de resultados, es la paleoclimatología, estudiada desde diferentes campos de la ciencia encaminados a reconstruir la historia del clima. Sin embargo, ningún método o campo científico puede él solo abarcar un objetivo tan amplio, más bien son muchas las disciplinas que concurren hacia este objetivo con aportaciones complementarias

más o menos interesantes.

La dendroclimatología es una de ellas y tiene como objetivo analizar la información contenida en el crecimiento radial de los árboles que actúan como verdaderos archivos naturales del pasado, tantos como años tengan y con periodicidad anual. Este tipo de información se limita fundamentalmente a las zonas templadas, razón por la que sólo puede dar una descripción parcial de la variabilidad climática a escala global. No obstante, su potencial como indicador del medio ambiente y su evolución son muy elevados, especialmente en zonas de transición climática como la española donde la confluencia de climas la hacen más sensible a cualquier anomalía en los mecanismos que los rigen.

Su desarrollo metodológico puede consultarse en una extensa bibliografía existente sobre este tema: FRITTS (1976), COOK et al. (1990), etc. y más recientemente en CREUS et al. (1992) donde además se indica el software específico y adecuado para llevar a cabo este tipo de estudios. El objetivo de este trabajo es presentar una reconstrucción climática como ejemplo de las posibilidades de la dendrocronología como método para estudiar el clima del pasado reciente. Los antecedentes para la zona peninsular están en los trabajos realizados con finalidad dendrocronológica (CREUS et al. 1992, GÉNOVA et al. 1993), en los que plantean objetivos dendrofitoclimáticos y dendroecológicos (FERNÁNDEZ et al. 1991; 1993) o los encaminados a conseguir reconstrucciones climáticas (CREUS et al. 1983; 1990; FERNÁNDEZ et al. 1994) en distintos puntos del ámbito peninsular.

#### FUENTES Y METODOLOGÍA.

Cualquier reconstrucción requiere disponer de varias cronologías, debidamente sincronizadas, donde apoyar los cálculos estadísticos. En el presente trabajo se aportan dos cronologías construidas en la región gallega. Una de ellas procede de la sierra de San Mamede-Queixa, zona de Invernadeiro, situada al sur de la provincia de Orense. Está formada por 15 muestras de *Quercus robur* que cubren un periodo de 432 años (1561-1992). La otra se construyó con 9 muestras de *Quercus pyrenaica* y *petraea* de la sierra lucense de Ancares-Ortígal, cuyas edades han permitido una cronología de 343 años (1650-1992). Al tratarse de una reconstrucción apoyada en dos cronologías, la longitud de la más corta condicionará el periodo total que puede ser estudiado, en este caso los 343 años de la serie de Ancares. Dichas muestras fueron superando las sucesivas fases metodológicas, siendo las de sincronización y estandarización las más importantes y decisivas del proceso. Los parámetros más significativos tomaron

los valores siguientes:

	Invernadeiro	Ancares
Desviación estándar	0.38	0.51
Autocorrelación	0.51	0.55
Sensibilidad media	0.27	0.25

La desviación estándar indica la capacidad de la serie para acusar las variaciones del clima, tanto en alta como en baja frecuencia. La autocorrelación muestra la dependencia del crecimiento con el año siguiente y la sensibilidad media la mayor o menor complacencia frente a los valores climáticos, a la vez que recoge las variaciones de alta frecuencia. Los resultados obtenidos alcanzan una significación suficiente y presentan valores muy similares a los calculados para otras zonas de la península (GÉNOVA et al. 1993).

La cronología final de cada localidad (Invernadeiro y Ancares) se forma promediando las muestras elegidas. Sin embargo, si se promedian directamente las secuencias de anillos sin tener en cuenta el patrón de crecimiento de cada muestra, la serie final resultante presentará fluctuaciones de media y baja frecuencia que en modo alguno corresponden a los aspectos comunes del crecimiento. Para evitarlo, cada muestra se somete a un procedimiento matemático que le extrae parte de la variabilidad no común al resto de las muestras de una localidad y que recibe el nombre de estandarización. Se trata de ajustar un modelo teórico de crecimiento individual expresado en una curva concreta. Para ello, los modelos estocásticos flexibles suelen expresar bien las tendencias de crecimiento. En todos los casos se han utilizado curvas tipo "spline", de empleo muy generalizado en este tipo de estudios (BLASING et al. 1983). Los valores finales son los siguientes:

	Invernadeiro	Ancares
Señal común	0.33	0.27
Variab. series indiv.	0.33	0.25
Variab. mismo indiv.	0.34	0.39
Tasa señal / ruido	2.46	1.75
Concordancia poblacional	0.71	0.73
Varianza 1º autovector	40.4%	38.4%

La señal común es el componente común de variabilidad y tiene un sentido fundamentalmente climático. La tasa señal/ruido muestra la validez estadística de la señal de la serie media. Finalmente, la concordancia poblacional permite estimar el número de series necesarias para representar la hipotética cronología

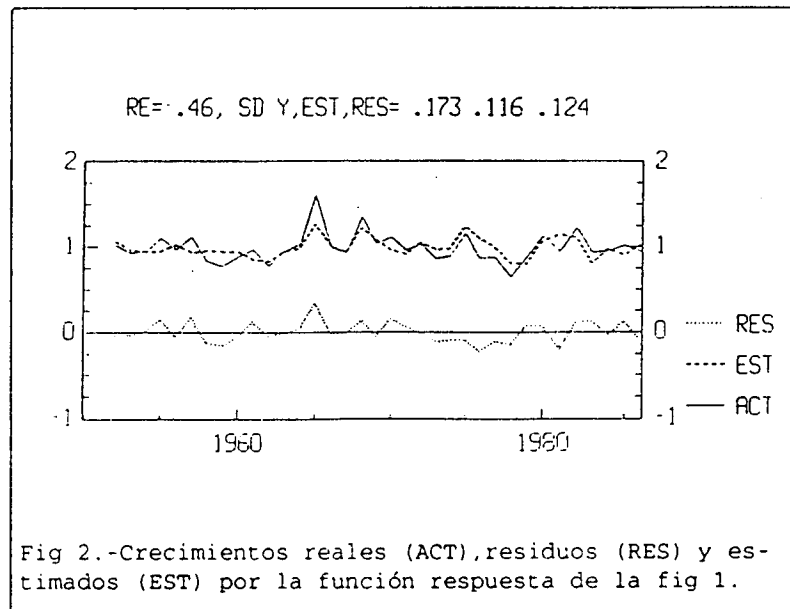
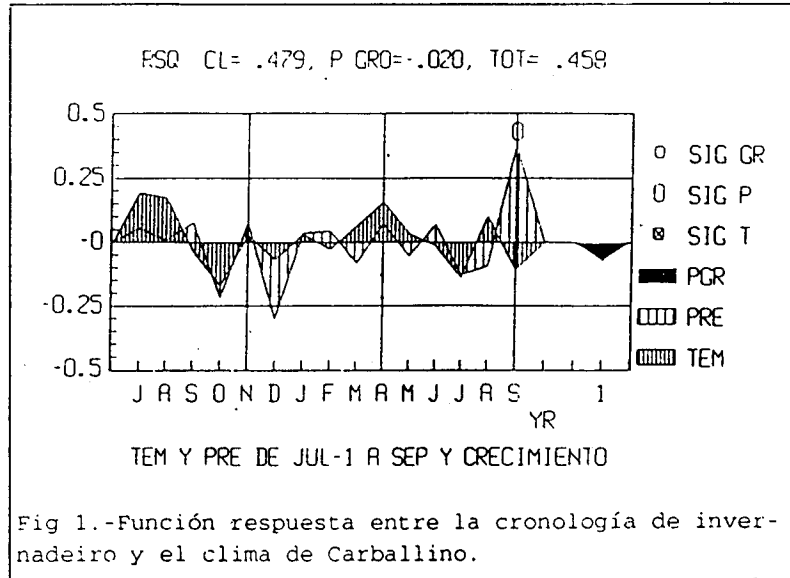
de la población, a su vez condicionada por la señal común.

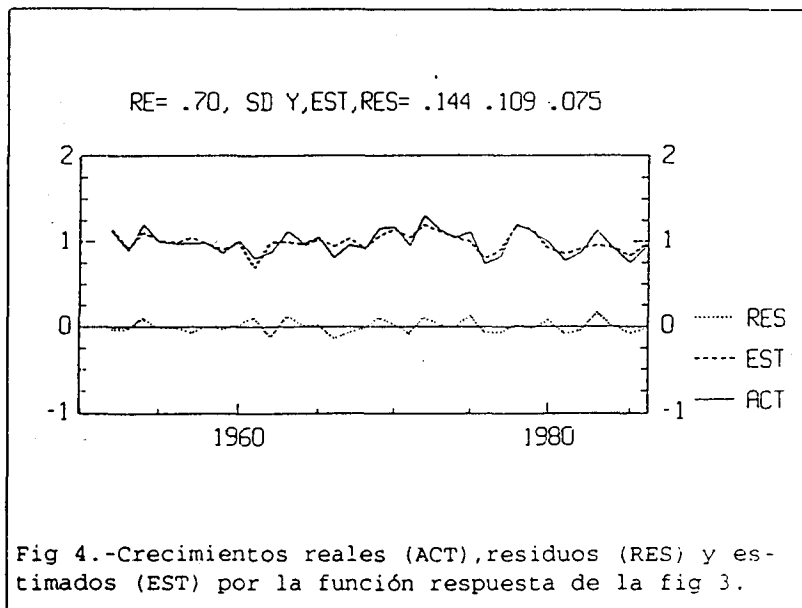
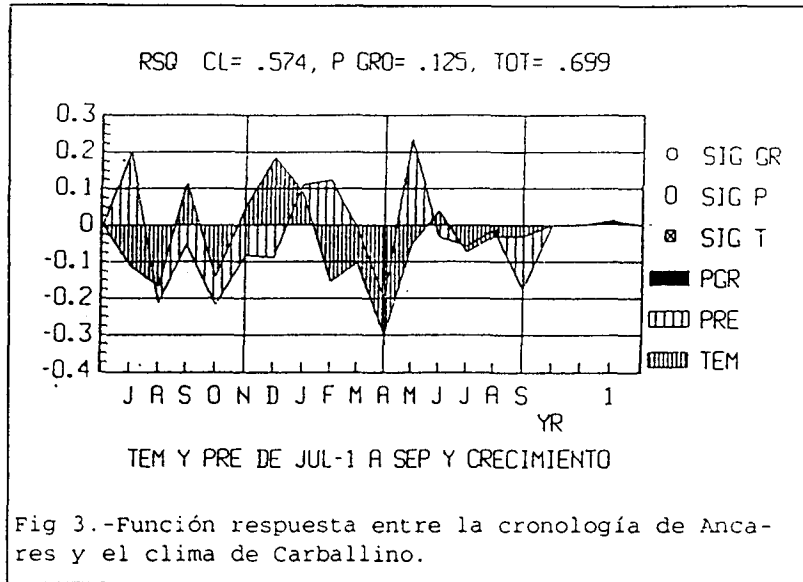
### CÁLCULO DE LA FUNCIÓN RESPUESTA Y DE TRANSFERENCIA.

La primera tiene como objetivo conocer la "respuesta" del árbol frente a los factores climáticos y saber cuales son las variables más significativas para su crecimiento. Para conocer esta relación, normalmente compleja, se utilizan regresiones en componentes principales con el fin de evitar la colinealidad de las variables climáticas. De esta forma se transforman dichas variables en otras ortogonales denominadas autovectores que se caracterizan por ser independientes (FRITTS et al. 1990). Una vez realizada, se procede a la calibración y validación del modelo multivariante mediante técnicas bootstrap hasta un número determinado de repeticiones a partir de las cuales los resultados no varían significativamente. Este método estima los errores estándar de las funciones respuesta y les aplica un test de significación robusta consistente en la creación de grupos aleatorios de datos con valores equivalentes a los grupos de datos originales, con cuyas matrices de correlación aleatorias se obtienen otros tantos autovectores, anulándose aquellos que superan en dos desviaciones la media de todos ellos.

Las figuras 1 y 3 muestran la función respuesta de la cronología de Inverna-deiro y Ancares respecto a la estación meteorológica de Carballino. En ellas figuran como variables independientes las precipitaciones y temperaturas medias mensuales de julio del año anterior a septiembre del año en que tiene lugar el crecimiento con el fin de recoger la inercia que presenta el crecimiento de un año con el siguiente. Con independencia de la influencia positiva o negativa que puede tener cada variable sobre el crecimiento, cabe destacar su mayor o menor importancia reflejada en la correspondiente gráfica por un mayor coeficiente. La función calculada es testada para conocer en qué medida podría estimar los valores reales. Tal proceso aparece, para cada cronología, en las gráficas 2 y 4, donde están representados los valores reales, estimados por el ajuste y los residuales.

Una vez seleccionada la temperatura de abril como variable muy significativa, especialmente para la cronología de Ancares, se calculó la función de transferencia que permitiría reconstruirla a partir de ambas cronologías. El proceso tiene el mismo planteamiento que cuando se calcula la función respuesta, sólo que invertido: el crecimiento pasa a ser variable independiente y el clima una función de aquél.





**VALORES RECONSTRUIDOS. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA.**

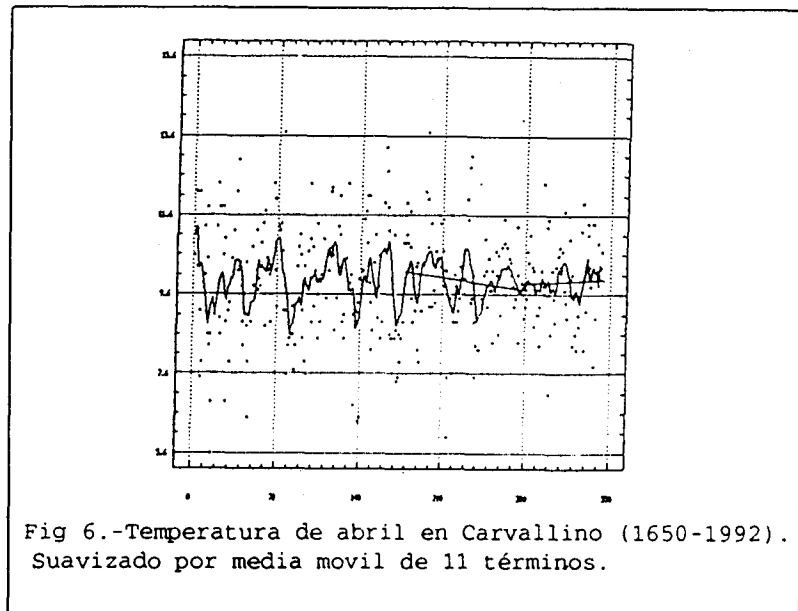
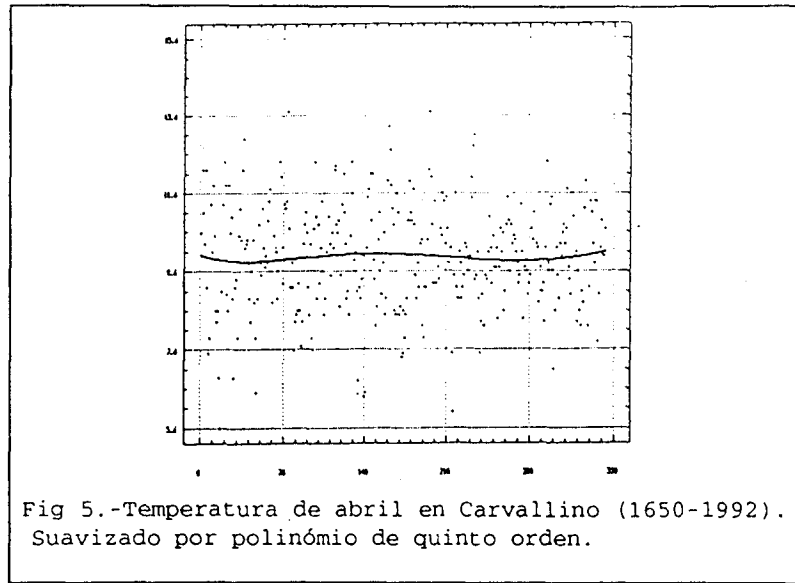
Una vez aplicados los coeficientes a ambas cronologías se obtuvieron los valores de temperatura que aparecen representados en las figuras 5 y 6, caracterizados por los siguientes valores:

años	343	valor mín.	5.6
media	9.95	valor máx.	13.7
mediana	10.0	rango	8.1
moda	10.2	Q1	9.1
varianza	1.81	Q3	10.8
des. est.	1.35	error est.	0.07

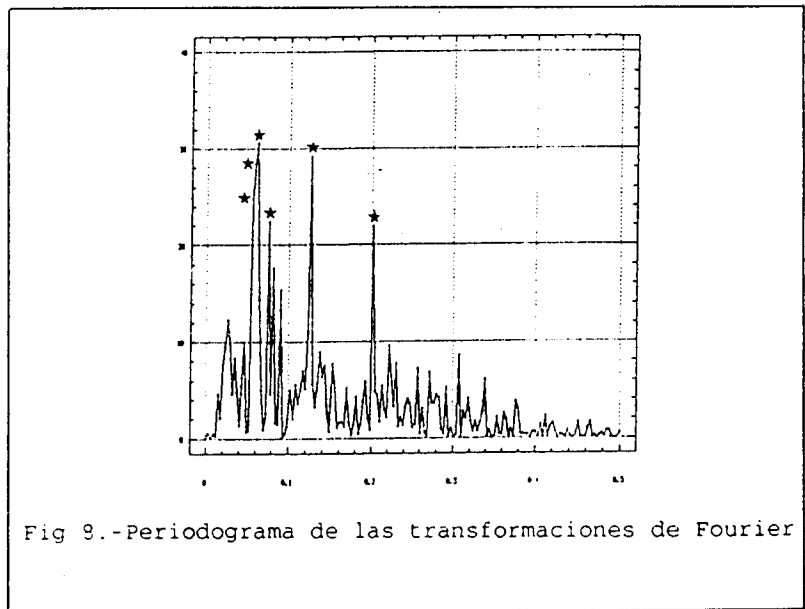
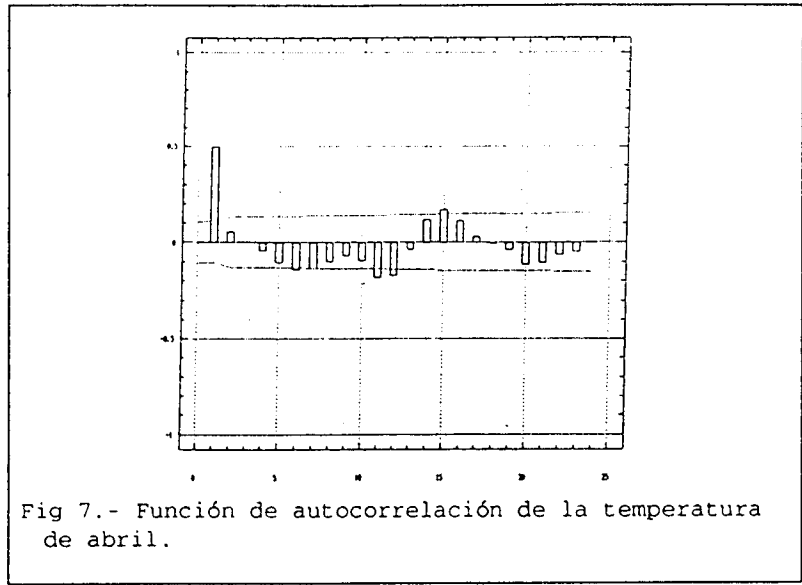
El año con temperatura más fría fue 1666 con 5.6 °C y el más cálido correspondió a 1723 y 1845 con 13.7 °C. Es destacable el hecho de que media y mediana presenten casi el mismo valor, indicando que la distribución de frecuencias no presenta sesgo hacia ningún extremo, si acaso ligeramente hacia valores elevados, en torno a 12 °C. Por medio del test de Kolmogorov se ha verificado su ajuste a una distribución normal. El valor obtenido (0.031) no supera el valor crítico para alcanzar una significación del 99%.

El 25% de los años han registrado valores inferiores a 9.1 °C y otros tantos han superado los 10.8. Analizando su ubicación temporal se observa que más del 90% de ellos se dieron antes de 1850. Su explicación hay que relacionarla con la fase final de la Pequeña Edad Glaciar, caracterizada precisamente por una acusada variabilidad climática de la cual la oscilación térmica es parte de ella. En la Fig.6 se observa cómo a partir de mediados del s. XIX se atenúa el régimen térmico.

Su grado de homogeneidad representa un requisito para un posible análisis de tendencias (Giuffrida et al. 1989). El test de Thom muestra que la serie es homogénea dado que el número de secuencias se sitúa entre los valores críticos. Sin embargo, su grado de aleatoriedad se ha calculado aplicando el test de Von Neumann, cuyo resultado cercano a 2 indica la carencia de tendencia. Así lo manifiesta el valor calculado a lo largo de los 343 años cuyo gradiente anual es tan sólo de 0.008. Esta ligera tendencia positiva, interrumpida por grupos de años con ascensos y descensos térmicos (ver Fig. 6) se ve ligeramente incrementada en los últimos decenios cuyo gradiente es de 0.03 grados.







### ANÁLISIS ESPECTRAL.

Con el fin de intentar poner de manifiesto la estructura interna de la serie se han empleado dos métodos para resaltar la posible presencia de componentes periódicos: la función de autocorrelación y el análisis espectral. En la Fig. 7 se han representado los sucesivos coeficientes, a la vez que se indica cuáles superan el umbral de significación del 95%. El desfase 1 corresponde a un proceso autorregresivo relacionado con la propia inercia del crecimiento y en modo alguno adquiere valor estadístico. Además de los desfases 6, 7 y 15 cabe destacar como más significativo el de 11-12 años que probablemente está relacionado con los ciclos de actividad solar cuyas alteraciones son medidas por el número de manchas solares.

Dado que del análisis de los correlogramas puede interpretarse un cierto comportamiento periódico, se ha efectuado un análisis armónico por medio de sucesivas transformaciones de Fourier (Fig. 8) que descompone la serie de datos en frecuencias fundamentales periódicas. En dicha figura se recogen todos los ciclos, indicándose con un asterisco aquellos que tienen significación estadística calculada mediante el test de Fisher (DAVIS, 1986). Las frecuencias señaladas corresponden, de izquierda a derecha de la gráfica, a los ciclos de 18, 17, 16, 13, 8 y 5 años. Su interpretación no es fácil y prueba de ello son las variadas explicaciones que se dan a algunos de ellos. El de 5 años suele considerarse un armónico del de 11-12 años. El de 13 años es un ciclo, detectado con mucha frecuencia, que suele relacionarse con las fuerzas que ejercen el sol y la luna sobre la tierra. El de 17-18 se explica como un armónico del ciclo de 11-12 años, etc. Su coincidencia con los aportados por el correlograma únicamente se da en este último, y podría ampliarse a otros si se consideran múltiplos del ciclo solar. Globalmente cabe considerar una mayor potencia en las bajas frecuencias.

### REFERENCIAS.

- BLASING, T. and DUVICHK, D. 1983. "Filtering the effects of competition from ring width series. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 19-30.
- COOK, E. and KAIRINTSKIS, L. 1990. *Methods of dendrochronology : applications in the environment sciences*. Kluwer Academic, 394 p.
- CREUS, J. y PUIGDEFÁBREGAS, J., 1983. "Climatología histórica y dendrocronología de *Pinus nigra* A.". *Invest. Climatol.* CSIC, 121-128.
- CREUS, J., MONTSERRAT, J. y MARTÍ, C., 1990. *Evolución climática del último milenio en el área mediterránea española*. Informe final proyecto, 269

p. mecanografiadas.

- CREUS, J. , GÉNOVA, M. , FERNÁNDEZ, A. y PÉREZ, A., 1992. "New dendrochronologies for Spanish mediterranean zone". *Lunqua Report*. Lund University. Tree Ring and Environment, vol 34, 76-78.
- CREUS, J. y FERNÁNDEZ, A. 1992. "Cuantificación del clima pasado a partir de series dendrocronológicas". *Actas V Coloquio Geografía Cuantitativa*, Zaragoza, 393-407.
- DAVIS, A., 1986. *Statistics and data analysis in geology*. Ed Willey and Sons. 646 p.
- FERNÁNDEZ, A., PÉREZ, A. y CREUS, J., 1991. "Algunos aspectos de la dendroecología de Pinus pinea". *Studia Oecológica*, VIII, 203-218.
- FERNÁNDEZ, A., MANRIQUE, E., GÉNOVA, M. y CREUS, J., 1993. "Estudio fitoclimático de la serranía de Cuenca en los últimos 300 años". *Congreso Forestal Español*, Lourizán, tomo 1, 93-98.
- FERNÁNDEZ, A. , GÉNOVA, M. , CREUS, J. y GUTIÉRREZ, E. 1994, "Dendroclimatological investigation for the last 300 years in Central Spain". *International Conference on Tree Rings, Environment and Humanity. Relationships an Process*. Tucson, Colorado. (En prensa).
- FRITTS, H. and GUIOT, J., 1990. "Methods of calibration, verification and reconstruction". In: *Methods of Dendroclimatology*. Cook et al Eds. Academic Publishers, 399 p.
- GÉNOVA, M., FERNÁNDEZ, A. y CREUS, J., 1993, "Diez series medias de anillos de crecimiento en los sistemas Carpetanos e Ibérico". *Investigación Agraria*, INIA, vol 2, tomo 2, 136-151.
- GIUFFRIDA, A. et CONTE, M., 1989. "Variations climatiques en Italie: tendances des temperatures et des precipitations". *P. Ass. Int. Climat.*, Vol 2, Aix-En-Provence, 209-216.
- RASMUSSEN, M., 1990. "Intraseasonal an interannual climate variability". *Climatic Change*, 16 (2), 153-171.