

# DECODIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LAS SERIES DENDROCRONOLÓGICAS DEL PENYAGOLOSA

J. Quereda, B. Mollá, E. Montón, J. Escrig y A. B. Ruescas

*Laboratorio de Clima, Universitat Jaume I.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación tradicional de la Dendrocronología ha sido la datación de estructuras arqueológicas e históricas así como la reconstrucción de climas pasados (DOUGLAS, 1914; H. C. FRITTS, 1976). Sin embargo, las técnicas convencionales de esta ciencia en el tratamiento de las series forestales, muy aptas para detectar períodos de benignidad o de estrés climático, contienen en cambio, una lamentable perversidad a la hora de mostrar la tendencia secular del clima. En efecto, la necesaria estandarización o reducción a índices de las diversas series arbóreas que la componen conlleva una eliminación de tendencia.

Una grave limitación, por cuanto que la Dendrocronología es prácticamente la única disciplina científica al margen de los cores polares, que puede proporcionar una larga dimensión histórica a las investigaciones sobre los climas pasados. Una disciplina cuyo rigor viene actualmente acreditado por los notables avances técnicos, metodológicos y de programación informática interactiva que se han obtenido en el tratamiento de los "cores" arbóreos. La lectura adecuada de los mismos, es decir de la codificación climática y ambiental que el espesor de anillo traduce, puede aportar actualmente la mejor reconstrucción climática del pasado. Ello supone una excelente aportación al actual reto científico inherente a la hipótesis del cambio climático global.

En el presente estudio se ha tratado de superar esa limitación de las técnicas dendrocronológicas convencionales para la detección de las tendencias climáticas seculares. El análisis de las series forestales del macizo del Penyagolosa, ha permitido ensayar una nueva metodología para discernir con gran aproximación los componentes biológicos de edad y de clima codificados en los anillos anuales de crecimiento arbóreo.

## 2. LA TÉCNICA DENDROCLIMATOLÓGICA CONVENCIONAL.

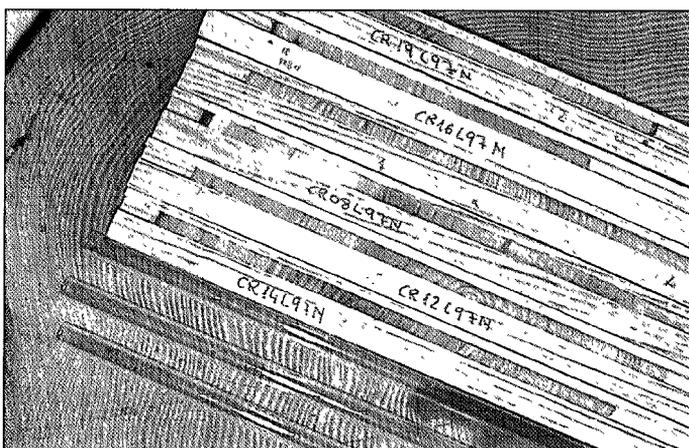
### 2.1. Técnicas de campo.

Nuestra investigación dendroclimática ha consistido en el análisis e interpretación del crecimiento anular de 75 ejemplares arbóreos de pino laricio, *Pinus nigra* Arnold, una de las especies que mejores resultados dendrocronológicos proporciona (J. CREUS et al. 1997). Las muestras forestales corresponden a los montes de Bobalar y Fontanals integrantes del paisaje vegetal natural del macizo de Penyagolosa y a árboles de gran longevidad que se remontan a fines del siglo XVIII (Fig. 1).



*Figura 1. Extracción de muestras de Pinus nigra, Arnold con barrena Pressler de 5 mm.*

Por cada uno de estos árboles se han obtenido generalmente dos muestras o "cores" en orientación Norte y Sur respectivamente, al objeto de captar mejor la posible variación de condiciones entre una exposición y otra. (M.W. BANNAN y M. BINDRA, 1970). La serie representativa de cada árbol es pues un promedio de ambas caras. La altura de extracción ha sido de unos 125 a 150 cm sobre el suelo (M. G. L. BAILLIE, 1982) (Fig.2).

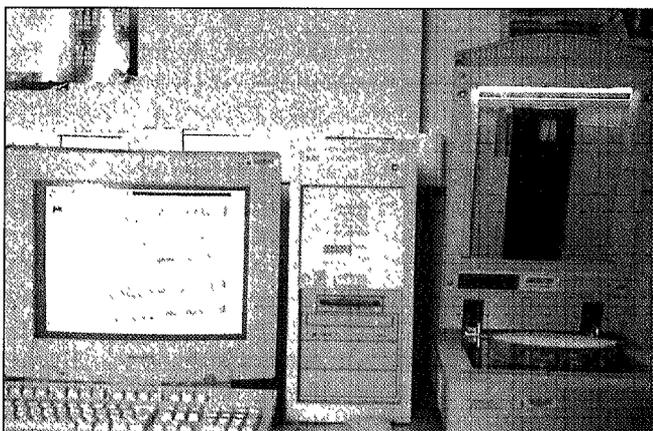


*Figura 2. Ubicación de las muestras sobre tubos de vidrio para el transporte y guías de medida.*

## 2.2. Técnicas de medida

Sobre estos "cores" y coronas se ha efectuado el análisis de espesores del crecimiento anular. Frente a los sistemas de medición clásicamente empleados o medidores de anillos con estereomicroscopios, las técnicas de medición empleadas en este trabajo corresponden al reciente sistema de imaginería desarrollado en 1988 en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Québec A Chicoutimi (R. GUAY, R. GAGNON y H. MORIN, 1990). Este sistema es de una mayor sencillez y seguridad que los anteriores, permitiendo además una conservación en archivo de todas las imágenes analizadas.

El procedimiento aquí utilizado es el procesado por el programa WinDENDRO. Este es un sistema de análisis de imágenes específicamente diseñado para medidas de crecimiento arbóreo. El sistema está basado en imaginería de scanners ópticos de alta resolución. En nuestro caso el scanner empleado es un UMAX, Powelook III, de resolución óptica 2.400/1.200 dpi, 36-42 bits, rango de densidad 3.4 D y área de sacaneado de 216 x 254 mm. Este escanner viene dotado de un sistema de software, el Binuscan-Photoperfect, que realiza un control automático de los colores. (C. W. McMILLIN, 1982), y ha sido a lo largo de la última década cuando han podido ser difundidos por cuestión técnica y económica hacia los estudios de dendrocronología (R. GUAY et al., 1992).



*Figura 3. Equipo de scanner UMAX, Powerlook III et corona en medición.*

La medición de anillos, bien en radios de disco o en un solo "core" puede realizarse mediante un método automático que también puede pasarse a medición manual. Con ambos métodos el espesor de los anillos es medido en línea perpendicular al campo anular. Los anillos identificados por WinDENDRO TM son señalados por líneas sólidas sobre la misma ima-

gen y con su año y número de anillo. La imagen original no puede ser modificada y está siempre disponible para posteriores referencias y análisis (Fig. 4).

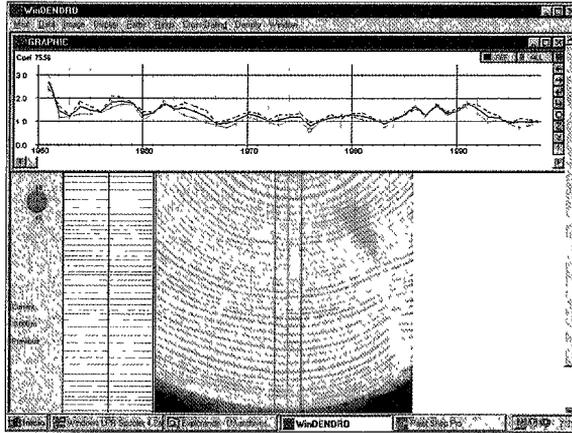


Figura 4. Esquema de introducción al WinDendro a través de su menú principal. En la parte superior aparece el gráfico de espesores así como los radios activos y los inactivos que la referencia crea.

### 2.3. Técnicas de control.

Dado que el rigor de todo análisis estadístico, y especialmente la validez de sus resultados depende esencialmente de la calidad de los datos de base, todas las series dendrocronológicas han sido sometidas a un cierto número de operaciones de control. Estas operaciones son las que han permitido establecer la homogeneidad y calidad de las series o, por el contrario, su rechazo para los análisis posteriores. Este control básico ha sido efectuado mediante la sincronización o interdatación de las series, es decir, que cada anillo medido esté en su año correcto de seriación, mediante el programa WinDENDRO. Este control lo va efectuando a través de la función "Cross-dating menu". A través de este comando la serie arbórea medida, de uno, dos o múltiples radios, puede ponerse en referencia gráfica con otras series ya medidas y aceptadas. La figura 4, ilustra de cómo el gráfico de WinDENDRO permite validar la calidad y sincronía de los datos bien visualmente o bien mediante métodos de cross-dating o cruce de datos. Simultáneamente, el gráfico muestra el coeficiente de correlación entre un determinado radio y su serie de radios de referencia. Un estadístico que verdaderamente proporciona la covarianza relativa de las series.

Sin embargo, tanto la correlación como la elaboración de series medias o maestras representativas de una zona forestal, están basadas en el muestreo de árboles distintos. Cada una de las series obtenidas en esos árboles contiene normalmente fluctuaciones de gran longitud de onda (de-

bidas a edad o condiciones de biotopo) así como fluctuaciones anuales (principalmente climáticas). Por ello la comparación e integración de series procedentes de árboles distintos requiere la eliminación de tales fluctuaciones. Las de alta frecuencia o anuales (esencialmente debidas al clima) pueden ser suavizadas mediante logaritmos. Sin embargo, las de baja frecuencia y gran longitud de onda, causadas por efectos de edad o condiciones biotópicas, exigen la transformación de las series a índices. A ello tiende el procedimiento denominado *estandarización* (C.H. FRITTS, 1976) que puede ser definido como la técnica más adecuada para obtener la curva media de crecimiento representativa de árboles de distintas edades y localizaciones (E. SCHULMAN, 1945). Para ello, evidentemente, se ha de lograr la máxima suavización y reducción de varianza para que las series resulten comparables y promediabiles.

La estandarización transforma así la serie no estacionaria en una nueva serie estacionaria de índices relativos que tienen por definición la media unidad y una varianza y sensibilidad relativamente constantes. El valor de los índices varia pues alrededor del 1 y puede ser multiplicado por 1000 a conveniencia. Esto se consigue al dividir cada medida de espesor de anillo por su valor estimado.

$$G_t = f(A_t, C_t, E_t)$$

Donde  $G_t$  es el trend estimado de crecimiento, que es una función del puro efecto de edad,  $A_t$ , y de las estocásticas perturbaciones de ese trend puro de edad  $C_t$ , o clima y  $E_t$  otras perturbaciones. No obstante, la definición de  $G_t$  sugiere que tanto la señal que interesa como el ruido no relevante a nuestra hipótesis están actuando en la componente del trend.

En consecuencia, la estimación o eliminación de la función  $G_t$  o trend de crecimiento, es un objetivo clave en los estudios dendroclimatológicos (A. E. DOUGLAS, 1914, 1919). La elección de la función de ajuste se ha adoptado mediante la observación de las numerosas cronologías y de los objetivos de nuestro estudio basado tanto en fluctuaciones de edad como de clima. Estas configuraciones permiten considerar que la función que mejor se adaptaba a las series regionales era la spline cúbica. Como se ha demostrado, ante configuraciones complejas de los datos temporales los modelos estocásticos flexibles parecen expresar mejor las tendencias (T.J. BLASING et al., 1983; E.R. COOK et al., 1992).

En síntesis, la aplicación de la spline cúbica, mediante el programa Arstan (E. R. COOK, 1985 y R. L. HOLMES et al. 1986) ha tratado de mostrar el verdadero trend o señal climática inherente a los datos. Ello ha sido realizado mediante la elección de un estimador en 25 años y la típica frecuencia de respuesta del 50%. De este modo se ha realizado un ajuste ponderado entre la flexibilidad del mismo y la suavización de la eliminación progresiva de las varianzas de baja frecuencia o ruidos. El resultado se muestra en la dendrocronología de la figura 5.

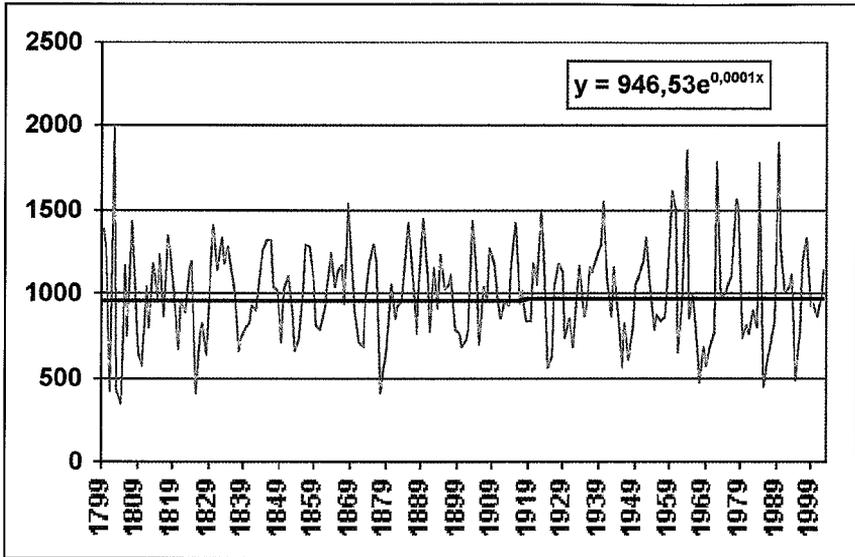


Figura 5. Dendrocronología del *Pinus nigra* Arnold correspondiente al macizo de Penyagolosa (1799-2002).

### 3. LA DETECCIÓN DE LA TENDENCIA CLIMÁTICA.

En síntesis, la elaboración de la dendrocronología anterior ha estado basada en las técnicas convencionales (FRITTS; 1976; HOLMES, 1983; COOK and KAIRIUKSTIS, 1990). En este orden de tratamiento, todas las muestras forestales han sido procesadas usando el programa WinDENDRO 2003. Mediante el subprograma Cofecha todas las series han sido ubicadas en su correcta posición temporal y mediante el programa Arstan, todas estas mismas series han sido estandarizadas con el objetivo de eliminar los factores biológicos, especialmente de edad y biotopo, que impiden la comparación entre árboles distintos y no permiten una buena definición de la serie maestra.

Sin embargo, tal y como hemos visto en figura 5, toda estandarización o reducción de los valores absolutos de crecimiento anual en espesor comporta la eliminación de la tendencia. En efecto, por más que se utilicen métodos conservadores de la información de baja frecuencia (exponenciales negativas o líneas de regresión) o combinados con la retención de fluctuaciones de onda corta (polinómicas), todas estas funciones deben tomarse con mucho cuidado en los análisis dendrocronológicos ya que, con certeza, están también eliminando posibles influencias climáticas. Ello es aplicable a las funciones de *splines cúbicas* con varios puntos de inflexión enlazados en nudos.

Consecuentemente, el tratamiento convencional de las técnicas dendrocronológicas, por definición basado en la estandarización y eliminación de las tendencias (detrending), no permite extraer conclusiones sobre la tendencia secular del clima. Las series maestras estandarizadas no muestran evoluciones inherentes al fundamento de la hipótesis de cambio climático. Una grave limitación que hemos tratado de superar.

### 3.1. Un método para extraer la tendencia climática: espesores reales e hipótesis de crecimiento.

Esta grave limitación de las técnicas dendrocronológicas convencionales en lo concerniente a los estudios sobre el cambio climático, nos ha llevado a emplear una modificación de las mismas.

Esta modificación comienza tras el procesamiento del “cross-dating” con la sincronización e interdatación de las distintas series arbóreas. Estas series quedan así constituidas por los valores reales de crecimiento anular anual sin estandarizar. Dado que todos los árboles proceden de una misma masa forestal con características físicas de gran homogeneidad, la única diferencia y fuente de error, podría venir vinculada a la diferencia de edad de los distintos árboles, hasta 20 años en nuestro caso. Es por ello por lo que los resultados obtenidos en el análisis de crecimiento real en las distintas etapas cronológicas interdatadas, han sido validadas mediante una cronología por edades. En esta cronología los valores promedios siempre corresponden a edades idénticas con independencia del año verdadero. En el programa Excel ello equivale a desplazar todas las columnas al mismo punto de origen.

Esta modificación en la técnica de tratamiento ha sido aplicada a la misma hipótesis de crecimiento arbóreo. Este sería una función en la que las series de anillos forestales pueden ser consideradas como la agregación de varias *señales* que son definidas como tales o como *ruido* en el contexto de una hipótesis específica o aplicación. Esta hipótesis es, en nuestro caso, toda la señal que responda al impacto de la evolución climática. Por ello, el problema de extracción de señal está fundamentalmente basado en la desagregación de todas las señales biológicas o ambientales que estén configurando el crecimiento arbóreo (E. R. COOK et al. 1992).

Este conceptual modelo de agregación lineal puede ser expresado del siguiente modo:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + E_t$$

donde:

$R_t$ , es el anillo observado.

$A_t$ , es el efecto biológico de la edad.

$C_t$ , es el efecto climático.

$\delta D_{1t}$ , es el efecto de perturbaciones debidas a factores endógenos.

$\delta D_{2t}$ , es el efecto de perturbaciones causadas por factores exógenos.

$E_t$ , es el efecto de variabilidad debida a otros factores no explicados.

De este modo y aunque ciertos efectos pueden ser multiplicativos y no lineales, transformando el espesor de los anillos a logaritmos las series pueden ser fácilmente linealizadas. En este sentido, las series de anillos son intrínsecamente procesos lineales como muestra la fórmula anterior. La  $\delta$  asociada a las perturbaciones causadas por factores endógenos y exógenos,  $\delta D_{1t} + \delta D_{2t}$  es un indicador binario de la presencia o ausencia a un tiempo dado  $t$  en los anillos. En consecuencia podemos considerar que  $A_t + C_t + E_t$  están por definición continuamente presentes en  $R$ , mientras que  $D_{1t}$  y  $D_{2t}$  pueden estar o no estar presentes como señal, dependiendo de que alguna de esas perturbaciones debidas a factores exógenos o endógenos haya ocurrido al mismo tiempo  $t$ .

Consecuentemente de las variables continuas o siempre presentes en el crecimiento arbóreo,  $A_t$  es un proceso *no estacionario*, con variación significativa a lo largo del intervalo estudiado, que refleja el efecto biológico de la edad. De tal modo que cuando  $A_t$  es el principal componente del crecimiento, el *trend* de la serie describirá una configuración exponencial mostrando el contraste entre el período juvenil y la fase de senectud. Lógicamente esta forma indica que no existen perturbaciones sensibles de otra naturaleza.

Sin embargo, y con certeza, esta componente o señal  $A_t$  está fuertemente influenciada y distorsionada por esas otras competencias y perturbaciones no biológicas. De tal modo que  $A_t$  no debe necesariamente crecer o decrecer con un modelo determinístico de curva exponencial. Más bien puede afirmarse que  $A_t$  es un proceso no estacionario, sino estocástico que puede, en casos especiales, ser modelado como determinístico, aunque el espesor de los anillos esté con gran frecuencia altamente correlacionado con la señal climática,  $C_t$ , a través de sus más típicas variables de precipitación, temperatura, radiación solar y evapotranspiraciones. Variables cuya señal o efecto deben ser comunes a todos los árboles de un mismo lugar y pueden ser persistentes en un modelo autorregresivo. Máxime en el contexto de la actual hipótesis de alteración progresiva del clima. De ahí el interés de los diversos modelos desarrollados para extraer la función de  $C_t$  mediante funciones polinómicas de mayor o menor grado entre las que se incluyen las *splines cúbicas*. Lamentablemente su empleo no permite ir más allá de señalar los períodos de stress o bonanza con eliminación de tendencia.

A pesar de ello creemos que es posible aproximar el valor de la tendencia climática desagregando las diversas señales o componentes que están configurando de forma continua la curva de crecimiento forestal a través de los espesores reales de crecimiento y de acuerdo a la función:

$$G_t = f(A_t, C_t, E_t),$$

donde  $G_t$  es el trend estimado de crecimiento, que es una función del puro efecto de edad,  $A$ , y de las estocásticas perturbaciones de ese trend puro de edad  $C_t$ ,  $E_t$ . Un trend de crecimiento concebido como un proceso

con una componente determinística y otra de naturaleza estocástica hipotéticamente progresiva. De este modo, desagregando la componente determinística biológica de edad,  $A_t$ , podremos obtener la componente climática,  $C_t$ , con el error asumible de  $E_t$ , considerado como factor desconocido. En síntesis, simplificando:

$$C_t = A_t - G_t$$

La desagregación de la señal de edad,  $A$ , se ha obtenido mediante el empleo de la función exponencial negativa, la principalmente apropiada para la suavización de tendencias de edad en valores de espesor. El valor de trend biológico se ha extraído a través de la diferencia de valor exponencial entre la serie arbórea y la serie climática. Ello ha sido posible a lo largo de tres períodos comparativos: el semisecular 1949-2002, el cuasi secular 1934-2002 y el supra secular 1880-2002. En el primero de ellos, la tendencia de la serie arbórea ha estado relacionada con la serie de precipitaciones del observatorio próximo de Adzaneta, cuya correlación con la serie dendrocronológica es de un 0.72. En el segundo de los períodos, el cuasi-secular de 1934-2002, el trend de la serie arbórea ha sido comparado con el de la tendencia climática de las precipitaciones del observatorio de Castellón, cuya correlación con la serie pluviométrica de Adzaneta es de 0.87. El tercer período, el suprasedecular 1880-2002, la serie dendrocronológica ha sido comparada con la de las precipitaciones medias anuales valencianas, en promedio de los observatorios de Castellón, Valencia y Alicante.

**Cuadro I. Períodos comparados.**

Período dendrocronológico	Precipitaciones	Coefficiente de correlación
1949-2002	Adzaneta	0.72
1934-2002	Castellón	0.87 (Adzaneta)
1880-2002	Valencianas	0.50

En la figura 6 correspondiente al período semisecular 1949-2002, es posible apreciar que el valor de trend mostrado por el crecimiento arbóreo ( $G_t$ ) corresponde a una exponencial negativa de -0.011, mientras que el valor climático ( $C_t$ ) se ajusta a -0.005. Consecuentemente puede asumirse que el valor de tendencia biológica de edad ( $A_t$ ) es de -0.006.

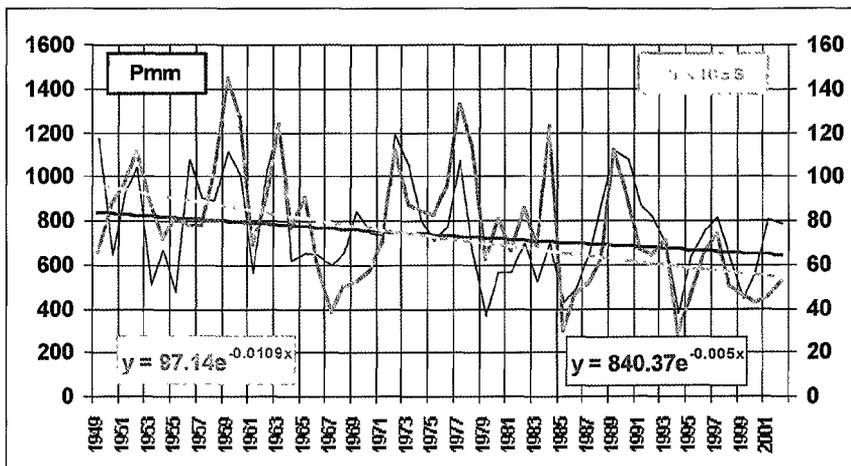


Figura 6. Comparación entre la tendencia de crecimiento de la dendrocronología y las precipitaciones de Adzaneta, 1949-2002.

La figura 7 correspondiente al período cuasi-secular 1934-2002, permite apreciar que el valor de trend mostrado por el crecimiento arbóreo ( $G_t$ ) corresponde a una exponencial negativa de  $-0.004$ , mientras que el valor climático ( $C_t$ ) es de  $0.002$ . Consecuentemente el valor resultante de tendencia biológica de edad ( $A_t$ ) es de  $-0.006$ , idéntico al obtenido en el período más reciente. Ello vuelve a caracterizar un valor de trend de edad ( $A_t$ ) que para las series de Penyagolosa, se sitúa en  $-0.006$ .

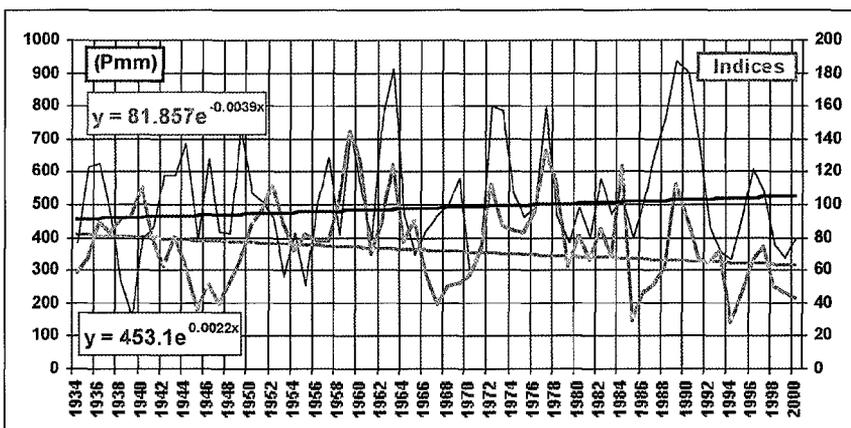


Figura 7. Comparación entre la tendencia de crecimiento de la dendrocronología y las precipitaciones de Castellón, 1934-2002.

La figura 8 muestra que el valor de trend deducido del crecimiento arbóreo ( $G_t$ ), a lo largo del período suprasedecular 1880-2002, corresponde a una exponencial negativa de -0.006. Dado que en ese mismo período, las precipitaciones valencianas ( $C_t$ ) se ajustan a una exponencial negativa de tan solo -0.0006. Consecuentemente el valor resultante de tendencia biológica de edad ( $A_t$ ) es de -0.006, casi idéntico al obtenido en los dos períodos anteriores, más recientes. Ello vuelve a caracterizar un valor de trend de edad ( $A_t$ ) que para las series de Penyagolosa, se sitúa en -0.006.

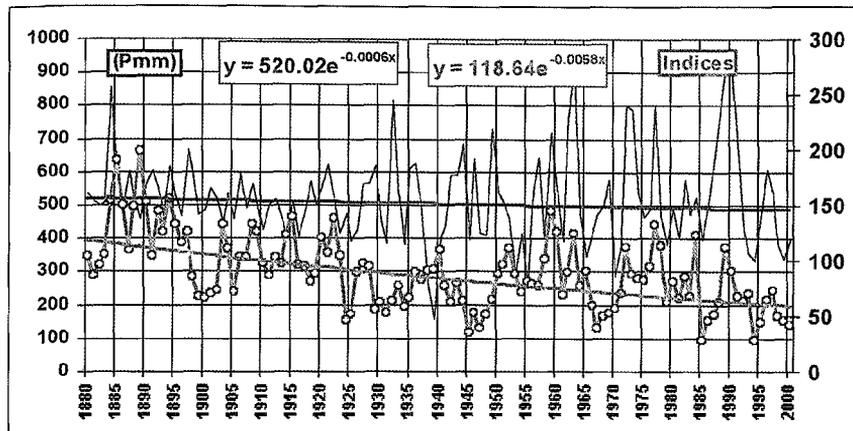


Figura 8. Comparación entre la tendencia de crecimiento de la dendrocronología y las precipitaciones valencianas (Castellón, Valencia y Alicante)1880-2002.

Globalmente, la figura 9 muestra que el valor de trend global de toda la cronología del macizo de Penyagolosa ( $G_t$ ), a lo largo de los dos últimos siglos 1800-2002, se ajusta a una exponencial negativa de -0.006. Dado que este valor es el reflejado por la variable de edad ( $A_t$ ) en los tres períodos anteriores analizados, es posible deducir que la componente climática ( $C_t$ ) no ha añadido nada.

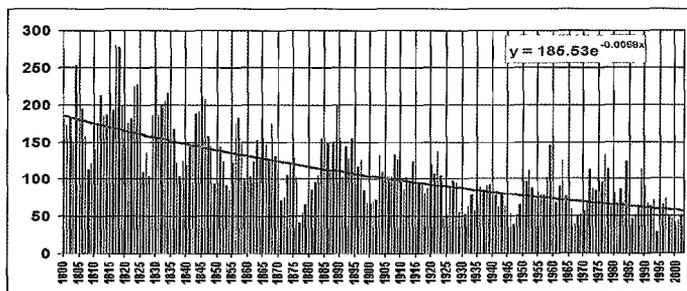


Figura 9. Dendrocronología del *Pinus nigra* Arnold (Macizo del Penyagolosa, 1800-2002).

Por último, el haber operado con árboles de distinta edad, sin estandarizar, podría conllevar algún falseamiento en la configuración de tendencias. Ello nos ha llevado a validar los resultados anteriores mediante el establecimiento de una serie basada en la edad verdadera de los árboles con independencia de su año de origen. Es decir que todas las series han sido llevadas a su primer año de edad. Los resultados han vuelto a ofrecer un valor de tendencia de crecimiento en exponencial negativa de valor  $-0.006$  (Fig. 10).

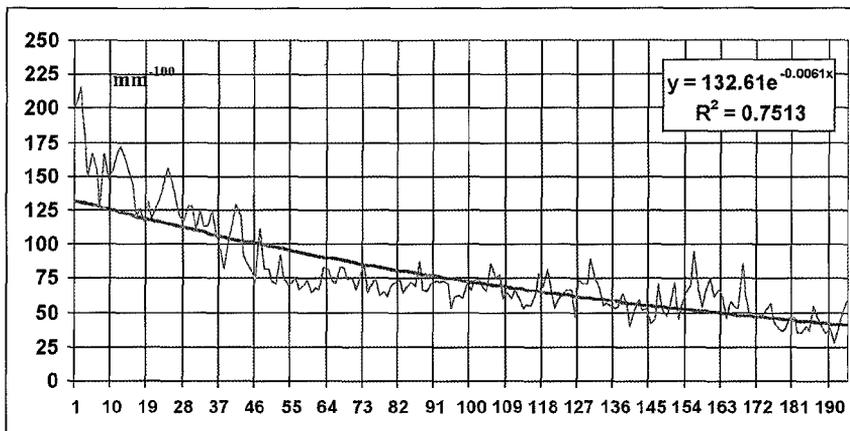


Figura 10. Función de crecimiento forestal del *Pinus nigra* Arnold por edad (Macizo del Penyagolosa, 1800-2002).

## CONCLUSIÓN

El tratamiento convencional de las técnicas dendrocronológicas, por definición basado en la estandarización y eliminación de tendencias (detrending), no permite extraer conclusiones sobre la tendencia secular del clima. De este modo, las series maestreas estandarizadas no muestran evoluciones inherentes al fundamento de la hipótesis de cambio climático.

La desagregación de las componentes básicas del crecimiento operado en los bosques de *Pinus nigra* Arnold del macizo del Penyagolosa, ha permitido ensayar una metodología para la extracción de la tendencia climática secular codificada en la dendrocronología local, basada en espesores de crecimiento anual no estandarizados. Los resultados obtenidos parecen avalar inicialmente, y en espera de su aplicación a otras comunidades forestales, la eficacia de este procedimiento para extraer la señal climática mediante la definición de la función exponencial negativa correspondiente al efecto biológico de edad. Como consecuencia de la aplicación realizada ha sido posible concluir, en estudio preliminar, que la evolución de las precipitaciones a lo largo de los dos últimos siglos, XIX y XX no ha mostrado tendencia alguna en el Maestrazgo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BAILLIE, M. G. L., 1982.- *Tree-ring dating and Archaeology*. Ed.Croom Helm, Londres.
- BANNAN, M.W. and BINDRA, M. (1970): "The influence of wind on ring width and cell length in conifer stem". *Can. J. Bot.*, 48, pp. 255-259.
- BLASING, T.J., DUVICK, D.N. and COOK, E.R.(1983): "Filtering the Effects of Competition from Ring -Width Series". *Tree-Ring Bulletin* 44, pp.1-15.
- BRIFFA, K.R., OSBORN, T.J., SCHWEINGRUBER, F.H., 2004.-"Large-scale temperature inferences from tree rings: a review". *Global and Planetary Change* 40: 11-26.
- COOK, E. R., 1985.-"A time series analysis approach to tree-ring standarization". Department of Geosciences. University of Tucson, Arizona.
- COOK, E.R. and KAIRIUKSTIS, L.A., (Eds.) 1990.-*Methods of Dendrochronology: applications in the Environmental Sciences*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 394, pp.
- COOK, E.R., STAHL, D.W. y CLEVELAND, M.K. 1992.-"Dendroclimatic evidence from eastern North America". En: Bradley, R.D. y P.D. Jones, eds., *Climate Science 1500*. Routledge, London. 331-348 pp.
- COOK, E.R., KRUSIC, P. and JONES, P.D., 2003.-"Dendroclimatic signals in long Tree-Ring chronologies from the Himalayas of Nepal". *International Journal of Climatology* 23:707-732.
- CREUS NOVAU, J. et al.(1997): "Paleoclimatological revision of climate evolution and environment in western Mediterranean regions", ECSC-EC-EAEC, Brussels, pp. 39-94.
- DAVI, N.K., JACOBY, G.C. and WILES, G.C.2003. "Boreal temperature variability inferred from maximum latewood density and tree-ring width data, Wrangell Mountain region, Alaska". *Quaternary Research* 60: 252-262.
- DÍAZ, S.C., TOUCHAN, R. and SWETNAM, T.W. 2001.-"A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico". *International Journal of Climatology* 21: 1007-1019.
- DOUGLASS, A. E. (1914): "A Method of Estimating Rainfall by the Growth of Trees". In: E. HUNTINGTON (ed.), *The Climatic Factor*. Carnegie Institution of Washington Publications 192, Washington, DC, USA.
- DOUGLASS, A.E. (1919): *Climatic cycles and Tree-Growth*, vol. 1, Carnigie Institution of Washington Publication 289, Washington, USA.
- FRITTS, H. C., 1976.- *Tree-Rings and Climate*. Academic Press, London, UK 567 pp.
- GEORGE, S., 2002.-"Hydroclimatic Change in Southern Manitoba Since A.D. 1409 inferred from Tree Rings". *Quaternary Research* 58, 103-111.
- GUAY, R., GAGNON, R. y MORIN, H. (1990): "MacDENDRO, a new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera", *Tree rings and Environment, Proceedings of the Internacional Dendrochronological Symposium* (LUNDQUA Report 34), Ystad, Sweden, pp. 128-131
- GUAY, R., GAGNON, R. y MORIN, H. (1992): "MacDENDRO and the concept of virtual slit for density measurement", IUFRO ALL-DIVIDION 5 meeting, Nancy, France.

- GUAY, R., GAGNON, R. y MORIN, H. (1992): "A new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera", *The Forestry Chronicle*, pp. 138-141.
- HOLMES, R. L. 1983.-"A computer-assisted quality control program". *Tree-Ring Bulletin* 43, 69-78.
- HOLMES, R., ADAMS, R. and FRITTS, H., 1986.-*Users manual for program Arstan*. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson, USA
- MARTINELLI, N. 2004.-"Climate from dendrochronology: latest developments and results". *Global and Planetary Change* 40: 129-139.
- McMILLIN, C.W. (1982): "Application of Automatic Image Analysis to Wood Science". *Wood Science* 14(3): 97-115
- SCHULMAN, E. (1945): "Tree-rings and Runoff in the South Plate River Basin", *Tree-ring Bulletin*, 11., pp.18-24.
- TOUCHAN, R., GARFIN, G., MEKO, D., FUNKHOUSER, G., ERKAN, N., HUGHES, M. and WALLIN, B., 2003.-"Preliminary Reconstructions of Spring Precipitation in Southwestern Turkey From Tree-Ring Width". *International Journal of Climatology* 23: 157-171.
- VILLALBA, R., GRAU, H.R., BONINSEGNA, J.A., JACOBY, G.C. and RIPALTA, A. 1998.-"Tree-Ring evidence for long-term precipitation changes in subtropical South America". *International Journal of Climatology* 18: 1463-1478.
- YADAV, RAM R. and SINHG, J. 2002.-"Tree-Ring-Based Spring Temperature Patterns over the Past Four centuries in Western Himalaya". *Quaternary Research* 57, 299-305.