

Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa
Universidad de Zaragoza
1992, Zaragoza

**CUANTIFICACION DEL CLIMA PASADO A
PARTIR
DE SERIES DENDROCRONOLOGICAS.
SINTESIS METODOLOGICA.**

José CREUS NOVAU

IPE-CSIC, Jaca

Angel FERNANDEZ CANCIO

INIA, Madrid

El clima terrestre está sometido a un proceso de cambio continuo e irreversible, cuya apreciación y magnitud depende de la escala en que lo analicemos. El actual difiere mucho del que dominaba hace cien millones de años, de características completamente distintas a las que tenían lugar durante el último periodo frío hace 18-15.000 años. Evidentemente seguirá modificándose en el futuro, aunque sólo sea por el impulso de causas naturales como las fluctuaciones de la órbita terrestre y de la constante solar. La diferencia estará en que los cambios que sobrevengan a corto plazo llevarán incorporados un nuevo componente, como es la influencia de la actividad humana en los intercambios de energía que tienen lugar en la atmósfera. Hacia ese objetivo se dedican importantes esfuerzos humanos y económicos, encaminados a modelizar el comportamiento del clima en un futuro próximo. Empresa nada fácil debido al tamaño y complejidad de los procesos que constituyen el clima planetario (interacción suelo-océano-atmósfera, desfase con que actúan determinados mecanismos, incertidumbre sobre ciertos procesos de realimentación, emisiones futuras, etc), de manera que los modelos matemáticos encuentran grandes dificultades para simular una realidad tan compleja. Su grado de validez se contrasta en función de la capacidad del modelo para simular el clima actual de forma global, para poder aislar variables físicas del modelo y

contrastarlas con los datos obtenidos de la realidad, o para reproducir los climas pasados en función de una serie de parámetros conocidos de este periodo de tiempo. Desde este punto de vista cualquier reconstrucción de climas pretéritos presenta una doble vertiente de interés: por una parte contribuir a la mejor comprensión de determinados procesos evolutivos - tanto de tipo biótico como abiótico- que ya de por sí justifican su importancia, y por otra aportar información necesaria para ayudar a modelizar el clima futuro y validar las predicciones obtenidas en función de la escala temporal utilizada.

FUENTES PALEOCLIMATICAS. La mayoría de las series temporales obtenidas con registros instrumentales no tienen una longitud suficiente como para realizar caracterizaciones estadísticas altamente significativas. En España, tan sólo algunas de las más largas disponibles se remontan a mediados del siglo XIX y sobre ellas se han realizado encomiable estudios a fin de caracterizar tales secuencias de datos (López et al, 1987; Clavero, 1982; Raso, 1987; Martín, 1989; etc).

Para suplir la brevedad de estos registros pueden utilizarse varias fuentes paleoclimáticas, cuyo grado de resolución suele estar en relación inversa a la escala de tiempo que abarcan. El método isotópico se fundamenta en la proporción de isótopos estables de O18/O16 en los compuestos oxigenados. Permite abarcar periodos del orden de cientos de miles de años pero con escaso grado de resolución, a excepción de los cores de hielo cuya precisión es casi anual, aunque no siempre es posible datar con seguridad el año de formación y constituye una fuente de información cuya procedencia se limita a zonas muy concretas. En el ámbito continental, la palinología constituye una técnica valiosísima para cubrir las grandes etapas de la vegetación durante el Holoceno. Sin embargo, presenta la dificultad de no conocerse con detalle las equivalencias entre la información polínica y los valores climáticos, además de su pequeño grado de resolución, siendo en la actualidad uno de los mayores escollos para su aplicación a la reconstrucción climática. Dado que las plantas tienen límites de tolerancia suficientemente amplios, únicamente se pueden detectar anomalías y cambios de tendencia cuando son acusados y persistentes, como los procesos de sucesión. Otra fuente de información, y con frecuencia muy poco estudiada, son las noticias escritas que de forma más o menos directa hacen referencia a hechos excepcionales (lluvias torrenciales, avenidas, rogativas, fechas de recolección de cosechas, etc). Tienen la ventaja de

estar referidas a años concretos, pero deben ser tratadas con precaución dado el elevado grado de subjetividad que encierran. Sobre este tipo de fuente es de justicia destacar la copiosa labor de recopilación realizada por José M. Fontana Tarrats (1974, 1975, 1976, 1977, 1978a, 1978b.), cuyos archivos -donados al Instituto Nacional de Meteorología- constituyen el mayor fondo documental que actualmente puede consultarse en España.

Si bien es cierto que los registros dendrocronológicos no pueden competir en longitud con la mayor parte de los anteriores, presentan la ventaja de que la datación es exacta y la periodicidad (resolución) anual, además de aportar información cuantificada y más objetiva que la procedente de fuentes escritas dada la general tendencia del "cronista" a anotar lo excepcional y casi nunca lo que podía considerarse normal. Información con frecuencia muy sesgada y subjetiva en función del tipo de apreciación que un determinado comportamiento climático podía provocar ante un observador del fenómeno. La amplitud de las series dendrocronológicas que pueden conseguirse dependen de la longevidad de los árboles existentes, pero a través del proceso de sincronización pueden solaparse cronologías procedentes de maderas antiguas y árboles fósiles, hasta conseguir reconstrucciones de varios milenios. De esta forma, se han creado cronologías continuas superiores a siete mil años con *Q. petraea* y *Q. robur* en Europa septentrional, y más de ocho mil años con *P. aristata* y *P. longeva* en América del Norte, aunque con cronologías flotantes solapadas se superan ya los doce mil años (Schweingruber, 1988). Actualmente se dispone de numerosas series locales en muchos países con las que, poco a poco, conformar el tejido necesario donde apoyar las reconstrucciones.

ORIGEN Y DESARROLLO DE LA DENDROCLIMATOLOGIA. El crecimiento en grosor, o crecimiento secundario, de los árboles y especies leñosas de la zona templada se manifiesta a través de unas marcas que conocemos como anillos de crecimiento. Cuando su ritmo presenta una cierta periodicidad anual, debido a la sucesión de periodos favorables o desfavorables al desarrollo, crean estas marcas cuyo número permite datar las especies que las presentan, siempre que se detecten los anillos dobles o ausentes que crean con mucha frecuencia. Debido a la relación crecimiento-clima, es posible reconstruir los elementos climáticos que más importancia hayan tenido en la vida del árbol y que han quedado reflejados en las células que forman el tejido xilemático.

No se sabe con exactitud cuándo se constató que el crecimiento de los árboles seguía un patrón en la formación del correspondiente anillo, pero se tiene constancia de que los griegos y romanos ya conocían el ritmo anual de crecimiento y que todos los anillos no eran iguales. En el s. XVIII diversos naturalistas (Linneo, Du Hamel, etc) se dieron cuenta que distintas especies mostraban similares características o pautas en los mismos años, asociándolo con el clima. Como verdadero precursor hay que considerar al alemán Kuechler que a mediados del s. XIX emigró a Estados Unidos de América. Preocupado por una prolongada sequía que afectaba al estado de Texas donde se instaló, pensó que su incidencia sobre los cultivos anuales también debía reflejarse en los árboles. Realizadas las oportunas averiguaciones, observó que los anillos de aquellos años eran pequeños en todos los árboles de la zona, atribuyendo a la sequía la formación de anillos más estrechos. En los 134 años de vida de los árboles estudiados observó 42 anillos pequeños distribuidos bien de forma aislada, en grupos o formando, como máximo, secuencias de seis años. Dedujo que la sequía era pasajera, ya que otras habían tenido lugar durante los años citados, y predijo a la población una vuelta a condiciones más húmedas en pocos años. De alguna forma había cubierto las etapas de toda investigación dendroclimática: seleccionar muestras sensibles al clima, interdatarlas, interpretar en términos ecológicos las variaciones de espesor y predicción futura.

A principios del s. XX el astrónomo A. Douglass retoma de forma más sistemática estos estudios con la idea de verificar si los ciclos de las manchas solares se reflejaban en el crecimiento a través del clima. Durante años prosiguió en vano estos estudios, que tampoco se han podido demostrar con técnicas estadísticas más recientes (Lamarche et al., 1972). Sus trabajos sentaron las bases de la dendrocronología actual y en 1936 funda en Tucson el Tree Ring Laboratory de la universidad de Arizona, actualmente considerado el más importante laboratorio de dendroclimatología.

SELECCION DE MUESTRAS Y MEDIDA DE LAS MISMAS. El objetivo final de la dendrocronología es la reconstrucción de unas variables climáticas a partir de las características de los anillos. El árbol actúa como un filtro capaz de integrar las señales climáticas en un determinado grosor de sus anillos, de manera que éstos pueden considerarse una expresión ponderada del crecimiento. Así, la variabilidad de una determinada secuencia de anillos puede interpretarse

como un indicador de la variabilidad climática de la zona, además de otros factores que influyen en su crecimiento como es su estado fisiológico, su capacidad de respuesta, etc.

La elección debe dirigirse hacia aquellos que crecen en condiciones más difíciles y que con frecuencia llegan a ser limitantes (límites de bosque, de distribución, sustratos rocosos, fuertes pendientes, aportes coluviales mínimos, etc). Cuanto mayor es la dificultad para su crecimiento cabe pensar que mejor será la respuesta frente al clima (árboles sensibles). Pero no siempre las aparentes dificultades de un hábitat resultan ser tan limitantes como parecen, de ahí que no todos los individuos seleccionados tengan valor para futuras reconstrucciones (Lamarche, 1982). Por estas razones, los muestreos no suelen realizarse al azar, sino dirigidos hacia tipos de árboles en determinadas condiciones ambientales.

Una vez seleccionados, las muestras se extraen con una barrena Pressler que, sin necesidad de cortar el árbol, permite sacar testigos -o cores- de dirección cardinal opuesta (N y S en lo posible), de longitud equivalente a su radio y de 5 mm de grosor. Dos muestras por árbol parecen ser un número suficiente dado que un mayor número de cores no aumenta de forma significativa la información recogida. El punto más idóneo es a unos 130 cm de altura del tronco, donde se reflejan bien las variaciones anuales del tamaño de los anillos asociadas al macroclima (Fritts, 1976). En cada localidad deben elegirse un mínimo de 20 individuos, dado el porcentaje de muestras que se eliminan una vez iniciado el proceso estadístico. Una vez secados a temperatura ambiente durante 20-30 días, los cores deben pulirse con lijas de grano fino hasta conseguir una superficie lo bastante lisa que permita su observación y medición en binocular. Si su lectura sigue siendo difícil, puede aplicarse algún tipo de tinción (ioduro potásico, picrofucsina, etc) que permita resaltar las bandas de crecimiento. La medida del grosor puede realizarse con cualquier lupa que lleve incorporado un micrómetro. Sin embargo el medidor Aniol, tiene muy buena resolución (1/100 mm) y facilita la informatización de las medidas a través de su programa CATRAS.

PRIMEROS PARAMETROS ESTADISTICOS. Las series de medidas de cada uno de los cores exigen un tratamiento estadístico previo antes de aceptarlos como muestras adecuadas para construir la cronología final de la localidad. El citado programa

CATRAS permite calcular los tres más significativos que a continuación se exponen.

El más específico es el coeficiente de sensibilidad media, definido como el porcentaje medio de variación del espesor de un anillo de un año con el siguiente (Fritts, 1976). Las variaciones de tamaño de los sucesivos anillos dependen de la sensibilidad que tenga el árbol frente a las variaciones que hayan experimentado los factores climáticos limitantes para su desarrollo. Por consiguiente, permite diferenciar aquellos cores que aportan escasa señal climática (muestras complacientes) y que deben eliminarse, de los que son más sensibles y adecuados para el objetivo final. Su valor depende de las características de cada especie y para cada lugar, de manera que un criterio adecuado para conocer el valor por debajo del cual deben despreciarse las muestras consiste en promediar las sensibilidades de la población que se estudia (Creber et al, 1984). Se define como:

$$SM = 1/n-1 \sum [2 (X_{t-1} - X_t) / (X_{t+1} + X_t)]$$

donde X es el grosor del anillo en un determinado año y n es el número de años de la serie.

Un segundo estadístico es la desviación estándar de las medidas. Al caracterizar la dispersión de los valores de cada serie respecto a su media, indica las variaciones de alta o baja frecuencia que contiene, de manera que un valor elevado insinúa que las variaciones de la serie tienden a ser de gran amplitud.

La autocorrelación tiene relación con las variaciones de baja frecuencia y aporta información sobre el grado de asociación entre los valores de una serie. A partir de sucesivos desfases es posible resaltar patrones repetitivos referidos a periodicidades teóricas.

PROCESO DE SINCRONIZACION. Es frecuente que los árboles elegidos hayan creado dobles anillos, o falten en el core extraído (anillos ausentes). En estos casos, una simple datación absoluta colocaría los posteriores en un año distinto del de su formación. Por consiguiente, su objetivo es situar correctamente en el tiempo cada uno de los anillos, tomando como referencia el último que ha formado, correspondiente al año de extracción del core. Para ello pueden emplearse varios métodos: el visual (previa representación gráfica de la serie), los años característicos, test de signo, t. de Student, etc.

El método de los años característicos hace referencia a aquellos años que, en un máximo de cores (superior al 80%), presentan algún tipo de singularidad. No depende de las tendencias ni de la magnitud de los datos y consiste en contar el número de coincidencias que un grupo de muestras presentan en un determinado año (Fritts, 1976).

El test de signo o tendencia desarrollado por la escuela británica (Baillie, 1982), considera el porcentaje de variaciones comunes entre dos series, a partir del sentido de variación del crecimiento que un año presenta respecto al siguiente. En los casos (años o grupos de ellos) en que haya existido alguna componente externa importante, el número de cores que presentarán las mismas pautas deberá ser grande.

El valor de la *t* de Student puede calcularse con el programa CATRAS que realiza un sistema de correlaciones con todos los desfases posibles y con un nivel de significación previamente elegido, indicando cuál es el punto de solapamiento para un máximo de sincronización. Mejores resultados se consiguen con el programa COFECHA (Tree Ring Laboratory) que utiliza series sin tendencia y se basa igualmente en el valor de la correlación entre intervalos de años, normalmente 25, de manera que el problema queda más localizado.

La sincronización es uno de los procesos más trascendentes en dendrocronología, ya que realizado deficientemente puede eliminar, o amortiguar demasiado, parte de la señal climática de alta frecuencia de la serie final y encontrar escasa relación con los elementos climáticos a la hora de calcular la función respuesta (ver correspondiente apartado).

ESTANDARIZACION DE LAS SERIES. Realizado el proceso de sincronización debe extraerse, de cada core de cada árbol, las tendencias biológicas y ecológicas del crecimiento debidas a la edad y de esta forma hacer comparables las series al convertirlas en estacionarias. Este proceso exige elegir bien la función de ajuste que debe transformar los crecimientos de cada core en índices. Para eliminar esta tendencia se aplica una función matemática que, en lo posible, recoja las variaciones no climáticas de la serie (edad, competencia, etc) y además tenga justificación biológica. Eliminar los factores no climáticos constituye un aspecto todavía no completamente resuelto. Según Phipps (1982) puede ser tan malo elegir una función muy rígida con el riesgo de eliminar parte de la información climática, como que lo sea poco y no elimine el ruido no climático.

La representación gráfica de los valores por medio de medias móviles es de gran ayuda para elegir adecuadamente la función teórica, dado que anulan las variaciones de alta frecuencia, pero mantienen los de media y baja (Graybill, 1979). Ello se consigue con los programas RWLIST y ARSTAN de Tree Ring Laboratory, o con cualquiera que contenga esta opción. Las funciones empleadas pueden ser varias, pero las más usuales son las exponenciales y splines cúbicas que ofrecen los programas INDEX y ARSTAN del citado centro, cuya principal diferencia consiste en que el primero es un programa de estandarización simple, con opción polinomial; mientras que el segundo realiza opciones más complejas como son, entre otras, el cálculo de series de residuos de procesos autorregresivos (ruido blanco), el análisis de la varianza y creación de cronologías, además de ser mucho más interactivo.

El programa INDEX presenta las siguientes opciones:

- ajuste exponencial negativo, que de no ser el más idóneo elige una función línea con pendiente negativa o una función lineal con pendiente igual a cero y ordenada en el origen igual al valor medio de la serie.
- ajuste lineal, independiente del valor que tome la pendiente.
- ajuste polinómico, con un número de coeficientes determinado de forma secuencial hasta que no reduzca la varianza de forma significativa.
- ajuste de función cúbica tipo spline.

El programa ARSTAN, más moderno, suprime la opción de los polinomios ortogonales existentes en INDEX y presenta más opciones de splines debido a su mayor flexibilidad de ajuste (splines con el 50% de frecuencia de corte, suavizar la serie en un porcentaje elegido, etc). Finalmente aporta tres cronologías básicas: una standar, otra residual obtenida mediante la aplicación de modelos autorregresivos univariados y multivariados, y una tercera que permite ver en qué medida se reduce el error estándar por el modelo autorregresivo. Supera en potencia a INDEX, pero tiene la desventaja de correr sólo en miniordenadores.

Posteriormente, transforman en índices las series de crecimiento correspondientes a cada core a partir del cociente entre el valor real o

medido y el ajustado por el modelo para cada año. Como series de índices presentan media y varianza constante, a las que se ha reducido su autocorrelación al extraer la tendencia debida a la edad, de manera que es posible comparar árboles de edades diferentes al uniformizarse las distintas fases de su vida.

ANÁLISIS DE LA VARIANZA. Las series cronológicas de índices constituyen un conjunto de datos susceptible de ser analizado en función de las diferentes fuentes de variabilidad. Una vez cuantificadas permiten identificar y precisar la importancia de los factores que en el sistema medio natural-anillo controlan las variaciones de grosor. Las fuentes de variación a tener en cuenta pueden ser varias, pero deben considerarse principalmente:

- a.- variabilidad anual común entre los árboles, atribuible a la componente macroclimática.
- b.- variabilidad anual de los índices de cada una de las muestras, interpretada como componente microclimática.
- c.- variabilidad de las muestras dentro del árbol.

El análisis debe realizarse sobre un número de años común a un máximo de muestras, de manera que el periodo máximo suele corresponder con la edad del árbol más joven. Para su cálculo puede utilizarse cualquier paquete estadístico, sin embargo, el Tree Ring Laboratory ofrece el paquete SUMAC que suministra información suficientemente detallada de las fuentes de variabilidad y de la representatividad de la cronología muestral respecto a la poblacional, pero el ARSTAN reúne en un solo paquete los citados INDEX y SUMAC, además de trabajar con mayor rapidez y disponer de mayor número de opciones.

RELACIONES CLIMA-CRECIMIENTO. FUNCION RESPUESTA. Uno de los principales objetivos de la dendroclimatología es conocer la influencia de las variables climáticas frente al crecimiento secundario y que se establece a través de un conjunto de relaciones a veces no fáciles de interpretar. Este conjunto se considera un sistema multivariante y el grupo de variables climáticas consideradas como más importantes se conoce como función respuesta. Las más significativas de las incluidas en ella serán las que posteriormente podrán ser reconstruidas. Según Fritts (1976), la relación

entre el crecimiento y el clima es multivariante, de manera que se impone el uso de regresiones múltiples normalmente aditivas para establecer dichas relaciones, aunque también reconoce tendencias fuertemente no lineales en la concepción de los modelos teóricos. La regresión en componentes principales es uno de los métodos más utilizados para calcular este tipo de relaciones, presente en la mayoría de los grandes paquetes estadísticos (BMDP, SAS, CSS, etc). Permite concentrar la información en un número menor de variables (vectores propios) que a su vez cumplan la hipótesis de que los vectores sean ortogonales. La matriz de datos debe incluir el índice de crecimiento de cada año -que actúa como variable independiente- y los datos meteorológicos del mismo año como predictores, durante tantos años como datos meteorológicos se disponga, teniendo en cuenta que parte de ellos han de reservarse para calibrar la función obtenida, manteniendo un número suficiente de grados de libertad.

La regresión resultante toma la forma siguiente:

$$Y(v) = C + b_1 x_1(v) + \dots + b_n x_n(v)$$

Los coeficientes que aporta la regresión deben estandarizarse a fin de que sean comparables, y sólo serán válidos aquellos que sean significativamente distintos de cero. Según Gutiérrez (1990) se consigue de la forma siguiente:

$$b_e = b_i (S_{xi} / S_y)$$

donde b_e es el coeficiente estandarizado, b_i es el obtenido en la regresión, S_{xi} es la desviación estándar de la variable correspondiente y S_y es la desviación estándar de la variable dependiente. A su vez, el cálculo del intervalo de confianza es igual a:

$$b_e = \pm [t_{n-p}, a/2] SD(b_e)$$

siendo t_{n-p} el valor teórico de la t de Student con $n-p$ grados de libertad y $a/2$ el nivel de significación, $SD(b_e)$ es la desviación estándar de cada uno de los coeficientes que se obtiene de extraer la raíz cuadrada de la siguiente expresión:

$$V(b_{ie}) = [(RSS / N-p) / (N-1) V_j^2] \cdot [\sum (e_{ij})^2 / l_i^2]$$

en la que RSS es la suma residual de cuadrados de la regresión, V_j^2 de la varianza de la variable climática j , $N-1$ es el número de grados de libertad, $N-p$ es el número de casos menos el número de vectores propios

utilizados en la regresión, $(e_{ij})^2$ el cuadrado de los coeficientes del vector propio de la variable considerada y l_i^2 el valor propio del vector que se está considerando.

La función respuesta igualmente puede calcularse mediante el programa RESPONSE de Tree Ring Laboratory que calcula automáticamente los intervalos de confianza en el análisis mediante componentes principales. Tan sólo precisa que se introduzcan los índices de la cronología y los datos meteorológicos correspondientes. El periodo de calibración y verificación del ajuste vienen determinados por el usuario. Un programa más completo y moderno del citado centro es el PRECON que permite ajustar por stepwise y componentes principales todo el conjunto de datos meteorológicos disponibles y después, mediante técnicas bootstrap, el programa elige distintos intervalos hasta quedarse con las variables que se muestran significativas en las sucesivas calibraciones y verificaciones

EL CLIMA A PARTIR DEL CRECIMIENTO. FUNCION DE TRANSFERENCIA. Si hasta el momento el crecimiento se ha tomado como una función del clima, ahora se procede en sentido contrario: el clima como función del crecimiento. Aquellas variables climáticas que en la función respuesta alcanzan mayor significación, o que son significativas en varias cronologías (si es que se usan varias para realizar una reconstrucción) serán las susceptibles de ser reconstruidas durante tantos años como índices tenga la cronología. Por consiguiente, la metodología es la misma que para el cálculo de la función respuesta, pero operando con los índices como predictores. De nuevo con la regresión en componentes principales, o el programa PRECON se calculan los coeficientes que, aplicados a la serie de índices, permiten retropredecir la variable seleccionada. Antes de iniciar la reconstrucción es necesario validar la función de transferencia obtenida, contrastando los resultados que de ella se obtienen con los datos climáticos (periodo de calibración ya citados) no utilizados en el cálculo de la función respuesta. La comparación entre los calculados y los disponibles puede hacerse con el test de signo, R^2 , test de reducción del error, etc. Superados estos tests se realiza la reconstrucción hacia el pasado tanto como lo permita la serie de índices de la cronología maestra.

DENDROCLIMATOLOGIA ESPAÑOLA. A nivel mundial son muchas las cronologías y reconstrucciones climáticas

realizadas y cuya enumeración excedería con mucho los objetivos aquí propuestos. Para ello pueden consultarse excelentes síntesis, como la de Hughes et al. (1982). Un breve comentario sobre la situación actual en España, cuyos trabajos no se iniciaron hasta hace poco más de un decenio y retomaron en el último quinquenio, puede resumirse en lo siguiente: se dispone de unas 10 cronologías en Galicia, algo más de 40 en la zona centro-cordillera Ibérica, en los Pirineos sobrepasan las 30 y unas 10 en el sur peninsular (Creus et al, 1983; Génova, 1987; Gutiérrez, 1987; Richter, 1988; Fernández et al, 1991, etc). En su mayoría proceden de *Pinus nigra* A. y *Pinus uncinata* R., además de *Fagus sylvática* y *Pinus sylvestris* L. De ellas cabe destacar la de Cazorla (Jaén) que se remonta al s. XI, la de Aigües Tortes (Lérida) que sobrepasa los 650 años y la de Torretón (Cuenca) con 504 años. No cabe esperar que tales series se sobrepasen con árboles vivos, por lo que cualquier prolongación hacia el pasado deberá, seguramente, basarse en restos arquitectónicos y arqueológicos que puedan solaparse por medio del proceso de correlación cruzada o *cross correlation*. El denominador común de casi todos los trabajos ha sido el cálculo de funciones respuesta, mientras que la reconstrucción de variables ha sido muy escasa y en algunos casos apenas superan la serie temporal de las medidas instrumentales. Un intento más global de reconstrucción, tanto por su ámbito espacial como retroceso hacia el pasado, es el realizado en el marco del proyecto Lucdeme-ICONA (Creus et al, 1990) y en el financiado por la CICYT nº 89-0866-CO2-01 (Fernández et al, 1992) donde se aportan las series más largas y se reconstruyen variables en varios puntos de España.

BIBLIOGRAFIA.

- Baillie, M., 1982.- Tree ring dating and archaeology. Croom. Helm. London.
- Clavero, P., 1982.- Análisis climático de la temperatura de Barcelona. In: El Plá de Barcelona y la seva historia, 55-63.
- Creber, G. and Chaloner, W., 1984.- Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. Botanical Review, 50, 357-448.
- Creus, J. y Puigdefábregas, J., 1983.- Climatología histórica y dendrocronología de Pinus nigra A. Invs. Bioclim. CSIC, 121-128, Zaragoza.
- Creus, J., Fernández, A., Montserrat, J. Pérez, A, y Génova, M., 1990.- Evolución ecológica durante el Holoceno y climática del último milenio en el área mediterránea española, 296 p mecanografiadas.
- Fernández, A., Creus, J., Génova, M. y Pérez A., 1992.- Estudio de las masas forestales y de su producción mediante análisis dendroclimático y dendroecológico, (original mecanografiado).
- Fernández, A., Pérez, A., Creus, J. y Génova, M., 1991.- Algunos aspectos de la dendroecología de Pinus pinea. Asoc. Ecol. Terret. León, (en prensa).
- Fontana, JM., 1974.- El clima del pasado en España, (original mecanografiado, 10 P.)
- Fontana, JM, 1975.- Quince siglos de clima andaluz, (original mecanografiado, 104 p.)
- Fontana, JM., 1976.- Historia del clima de Cataluña, (original mecanografiado, 248 p.)
- Fontana, JM., 1977.- Entre el cardo y la rosa (Historia del clima en las Mesetas, (original mecanografiado, 269 p.)
- Fontana, JM., 1978a.- Historia del "Finis Terrae" gallego, (original mecanografiado).

- Fontana, J.M., 1978b.- Historia del clima en el litoral mediterráneo. Reino de Valencia y provincia de Murcia (original mecanografiado).
- Fritts, H., 1976.- Tree rings and climate. Academic Press. New York, 567 p.
- Génova, R., 1987.- Análisis y significación de los anillos de crecimiento de dos especies forestales. *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris*, en la Península Ibérica, Universidad de Barcelona, 490 p.
- Graybill, D., 1979.- Program operating manual for Rwlis, Index and Sumac. Technical report, Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona.
- Gutiérrez, E., 1987.- Dendrocronología de *Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica*. Universidad de Barcelona, 478 p.
- Gutiérrez, E., 1990.- Dendroecología de *Pinus sylvestris* L. en Cataluña. *Orsis*, 5, 23-41.
- Hughes, M., Kelly, S., Pilcher, J. and Lamarche, V., 1982.- Climate from tree rings. Hughes et al Eds, Cambridge University Press, 233 p.
- Lamarche, V. and Fritts, H., 1972.- Tree rings and sunspot numbers, *Tree Ring Bull.*, 32, 19-33.
- Lamarche, V., 1982.- Sampling strategies. In "Climate from tree rings", Hughes Edt. Cambridge Univ. Press.
- López, A. y Fernández, F., 1986.- Evolución térmica de Madrid durante el presente siglo (1901-1990). Quaternary climate in western mediterranean, Lopez Vera Ed., 249-270.
- Martín, J., 1989.- Singularidad y evolución secular de la pluviometría del litoral gaditano. *Jor. Geo. Fís. Cadiz*, 57-69.
- Phipps, R., 1982.- Comments and interpretation of climate information from tree rings, Eastern North America. *Tree Ring Bull.*, 42, 11-22.

Raso, JM., 1987.- Variaciones recientes de la temperatura en el observatorio del Ebro, *Anales de la Uni. Comp. Madrid*, 7, 155-165.

Richter, K., 1988.- Dendrochronologische und dendroklimatologische untersuchungen an keifern (*Pinus ssp.*) in Spanien. Universität Hamburg. 269 p.

Schweingruber, F., 1988.- Tree Rings. Basic an aplicaciones of dendrochronology. Dordrech, Holland, 276 p.