

# INVESTIGACIÓN SOBRE LOS CAMBIOS DEL CLIMA Y FITOCLIMA EN EL ÚLTIMO MILENIO. APORTACIONES METODOLÓGICAS

A. FERNÁNDEZ CANCIO\* & E. MANRIQUE MENÉNDEZ \*\*

\* CENTRO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL ( CIFOR) CIT-INIA. CRTA. DE LA CORUÑA KM. 7 S/N . 28040 MADRID.

\*\* ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA FORESTAL. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. CIUDAD UNIVERSITARIA. 28040 MADRID.

## RESUMEN

Se presentan y analizan los resultados sobre la evolución del clima y fitoclima del último milenio obtenidos sobre diecisiete estaciones españolas. Se presenta una modificación metodológica sobre la reconstrucción dendroclimática y sus efectos sobre el número, calidad y longitud de las series reconstruidas.

P.C.: Dendroclimatología, Fitoclimatología, Pequeña Edad Glacial (PEG) , Cambio Climático.

## SUMMARY

In this work we present and analyze some results about climatic and phytoclimatic evolution over the last millenium, obtained in 17 Spanish stations. We also present a methodological modification for climatic reconstruction and its effects on the number, quality and length of the reconstructed series.

K. W.: Dendroclimatology, Phytoclimatology, Little Ice Age, Climatic Change.

## INTRODUCCIÓN

Se busca la reconstrucción de variables fitoclimáticas del pasado, la detección del posible Cambio Fitoclimático y las expectativas sobre su evolución, así como sus impactos en la vegetación actual para detectar espacio -temporalmente las anomalías climáticas habidas y analizar en qué medida son comparables con la situación actual, observando si las tendencias permanecen o no dentro del rango de variabilidad natural del último milenio.

Las nuevas orientaciones metodológicas han sido desarrolladas por FERNÁNDEZ CANCIO y MANRIQUE MENÉNDEZ (1995,96) aplicándose un nuevo conjunto de programas basados parcialmente en los programas CLIMOAL (MANRIQUE MENÉNDEZ, 1993) y realizados por el mismo autor. La necesidad de un cambio metodológico surge de cuatro limitaciones observadas en la reconstrucción climática clásica: a) El pequeño número de variables climáticas significativas reconstruibles. b) La longitud limitada de las series locales en muchas estaciones (fiabes sólo desde 1700) cuyas reconstrucciones no superaban el tamaño de la menor cronología local utilizada. c) El distinto comportamiento respecto al clima de las series dentro de cada localidad. d) La cantidad de tiempo que se consumía en las reconstrucción manual de las variables.

Para realizar el estudio fitoclimático se eligió el Sistema Fitoclimático de ALLUÉ ANDRADE, (1990, modificado en 1995), lo que exige la reconstrucción de las variables clasificadoras de los distintos tipos fitoclimáticos según la clave de ALLUÉ (1995) para lo

que se emplea la capacidad de los árboles para detectar magnitudes derivadas directamente de las variables meteorológicas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En esta metodología que se separa de una concepción más clásica (CREUS Y FERNÁNDEZ-CANCIO, 1992) se analizará directamente la relación del clima en función de los anillos. Esto se basa en la existencia de una señal macroclimática general en España, detectable en la sincronización entre cronologías alejadas, lo cual permite utilizar árboles cuya información es aprovechable a nivel geográfico nacional. Por lo tanto, cada variable climática se contrasta ahora con todas las cronologías existentes para, por correlación simple, extraer el subconjunto de árboles que la reconocen significativamente.

La metodología se basa, pues, en un método de selección y clasificación por correlación simple entre varios filtros estocásticos de las muestras dendrocronológicas y cada variable climática o fitoclimática de cada estación meteorológica. Por el momento, todas las variables analizadas (65 en 17 estaciones) encuentran una respuesta macroclimática en algún conjunto de árboles del país.

Se crean así nuevas cronologías regionales o zonales agrupando muestras de distinta procedencia geográfica que dan lugar a una cronología dirigida hacia la variable, no representativa de un lugar concreto, y cuya longitud deja de depender de la menor cronología local; esto aumenta fuertemente el número de variables climáticas reconstruibles incluso a gran distancia, como prueba el hecho de poder reconstruir alguna variable climática canaria desde la península.

Además, se disminuye la subjetividad en la eliminación de la señal de origen no climático al elegir los filtros estadísticamente, aceptándose las muestras más significativas y las tendencias que deben preservarse. Las cuencas y regiones fitoclimáticas menos reconstruibles (sudoeste español y entorno de la Cordillera Cantábrica) por falta de material dendrocronológico local se hacen también ya accesibles en unas condiciones semejantes a las de las regiones que están localmente bien representadas.

Esta metodología detecta las relaciones anillo-factor fitoclimático en su sentido meteorológico sin que sea necesario interpretar los anillos como "huellas fitoclimáticas tipológicas". Así se aportan a la clave cualitativa de ALLUÉ (1995) los factores necesarios para reconstruir los subtipos fitoclimáticos. La reconstrucción masiva de variables por estación permite obtener también climodiagramas compendios y espectros. La fiabilidad de estas reconstrucciones depende de su contraste con el azar (FERNÁNDEZ-CANCIO, A., MANRIQUE, E., 1996), aunque una variable puede no ser fiable y ser válida. En general los problemas fitoclimáticos se superan debido a la mayor estabilidad de los compendios y espectros.

Resumiendo, se busca: Recuperar y amplificar las señales débiles. Preservar la señal de baja frecuencia de un modo más natural. Reconstruir homogéneamente las variables en el entorno de 500 años. Aumentar la calidad de las reconstrucciones. Conocer el comportamiento de las distintas zonas geográficas con respecto a la señal macroclimática y a las estaciones meteorológicas. Construir cronologías dirigidas hacia las variables. Aumentar la velocidad con que se reconstruyen las variables.

## RESULTADOS

Se han reconstruido 1105 variables meteorológicas de 17 estaciones meteorológicas seleccionadas: La Coruña, Santander, León, Vinuesa, Carbonero el Mayor, Navacerrada,

Madrid, Uña, Tortosa, Valencia, Zorita de los Canes, Cáceres, Barrado, Arguellite, Embalse de Puentes, Ciudad Real y Sevilla.

De éstas variables un 68% son fiables y un 48% altamente fiables, en general con una varianza explicada entre 0.4 y 0.8 (Fig. 1). Un alto porcentaje de las que no son fiables seguramente son correctas pero no parecen discernibles del azar. Con estos nuevos métodos se converge hacia una Función Respuesta (FRITTS, 1976) a nivel nacional en la que aparecen las temperaturas como variables muy significativas mientras que las precipitaciones tienen una fuerza mucho menor.

Los períodos en que los factores fitoclimáticos han sido más altos son: K :1650-1750 :1750-1850, A :1450-1550, P :1550-1650 :1950-1994, PE :1550-1650 :1950-1994, TMF :1950-1994, T :1950-1994, TMC :1950-1994, TMMF :1950-1994, OSC :1850-1950, TMMC: 1450-1550 :1950-1990. Respecto a las Temperaturas máximas los núcleos importantes de población: La Coruña, Santander, León, Tortosa, Valencia, Madrid, Ciudad Real, Sevilla y Cáceres. (más de un 50% de la muestra) pueden alterar la respuesta en 1950-1994 por el efecto local de "isla térmica". Si no se consideran estas estaciones la distribución de los valores máximos se centra en 1550-1650 ya que Santander, Vinuesa, Navacerrada, Arguellite, Puentes, Barrado y Zorita de los Canes no los poseen en 1950-1994. Carbonero el Mayor y Uña sí, aunque por estrecho margen.

De forma similar los períodos en los que los factores fitoclimáticos han sido más bajos son: K :1250-1350 :1550-1650, A :1550-1650, P :1850-1950, PE :1450-1550, TMF :1450-1550 :1650-1750 :1850-1950, T :1450-1550 :1650-1750 :1850-1950, TMC :1250-1350 :1650-1750, TMMF :1350-1450 :1650-1750, OSC :1950-1994. Se resaltan aquí las fases más frías de la PEG entre 1450-1550 y 1650-1750 y la crisis climática del siglo XX que comienza hacia 1880 con una fase fría y seca que se prolonga hasta 1910-1920.

Estudiando la estabilidad fitoclimática en compendios de 100 años sobre las 17 estaciones; 8 tienen cambios a veces intermitentes en sus compendios y espectros históricos: Cáceres (IV3 / IV4), Zorita (IV(VI)1 / IV3), Ciudad Real (IV3 / IV(VI)1), La Coruña (VI(IV)3 / IV(VI)2 / VI(V)), Vinuesa (VI(VII) / VIII(VI)), Carbonero el Mayor (VI(IV)1 / IV(VI)1), Navacerrada (VIII(VI) / VI(IV)2), este cambio coincide con el momento en que la PEG se hace muy árida y fría y con la desaparición de los pinos silvestres y laricios de edades superiores a 500 años en el Sistema Central, Arguellite (VI(IV)3 / IV4). Las estaciones de Puentes (IV1), Uña (VI(IV)2), Valencia (IV2), Tortosa (IV(VI)2), Barrado (VI(IV)2), Madrid (IV3), Sevilla (IV2), Santander (VI(V)) y León (VI(IV)1) mantienen secularmente sus compendios.

Estos compendios indican por su duración cambios más profundos en el fitoclima que los derivados de compendios sobre intervalos menores. A veces como en Vinuesa, La Coruña (Fig. 2), Arguellite, Navacerrada y Carbonero el Mayor los cambios parecen muy importantes.

En el siglo XX surge un nuevo episodio climático crítico parecido y quizá continuador de la PEG (Fig. 2), con varios períodos extremos que pasan de fases frías y secas desde 1890 a fases cálidas y lluviosas, con presencia de fuertes sequías como la de 1980-95 y un aumento significativo de la variabilidad.

Por tanto, como en España muchas estaciones suelen tener datos sólo desde 1950, intervalo que no es representativo de la media histórica de la estación, los datos tomados en esta fase de rápida evolución y sin poder considerar un pasado suficientemente amplio, podrían alterar los verdaderos límites fitoclimáticos de las estaciones.

Sobre un posible cambio fitoclimático (MELENDEZ Y MONTERO, 1993; ALLUÉ, 1995) y haciendo un análisis estadístico sobre los intervalos de 100/45 años se ha estudiado la probabilidad de que los máximos y mínimos que aparecen entre 1950-1994 provengan o no del azar climático con respecto al conjunto del milenio (FERNÁNDEZ-CANCIO, A., MANRIQUE, E., 1996). En este análisis se refuerza la idea de que el episodio actual es de origen fundamentalmente natural, semejante en tendencia a lo que sucedió en la PEG, con un inicio hacia finales del siglo pasado, que se manifiesta con una gran amplitud secular y cuya evolución es necesario vigilar.

Otra clase de Cambio Fitoclimático, muy importante y no suficientemente valorado, puede surgir de los cambios en la variabilidad interanual o en períodos cortos. En este sentido, aunque estamos en una fase mucho menos variable que el período 1400-1600 característico de la PEG (Fig. 3) en el que la frecuencia absoluta de los sucesos extremos fue mucho mayor, la nueva aparición de sucesos extremos desde 1900 y su posible letalidad, después de la fase de calma entre 1700 y 1900, coloca un elemento de incertidumbre en el futuro que debe investigarse.

## CONCLUSIONES

La PEG transcurrió fundamentalmente entre los siglos XV y XVII amortiguándose mucho a partir del XVIII y se caracterizó por su variabilidad y por el grado de estrés que generó en los árboles que la superaron, lo cual se observa en las perturbaciones de los anillos de ese período.

Si los cambios seculares en los subtipos fitoclimáticos que viran entre estrategias fisiognómicas son capaces de inducir variaciones en la vegetación (AULLÉ, 1995) se podría deducir, tanto en el presente como en el pasado, que la vegetación actual no está en un estado estacionario sino en evolución, ya que se observa que han existido frecuentes modificaciones en la genuinidad secular de los tipos dentro de un esquema relativamente estable.

La evolución errática de los espectros, característica de intervalos cortos (FERNÁNDEZ-CANCIO, A., MANRIQUE, E., 1996) en muchas estaciones, contrasta con la mayor estabilidad observada al ampliar éstos, por lo que se sugiere el considerar períodos mas amplios y en este sentido parece aceptable el período normal de dos ciclos solares como mínimo (unos 30 años).

Se sugiere, también, que los límites numéricos definidos para la vegetación se examinen en función de la variabilidad total observada, con especial atención hacia el intervalo actual que puede ser poco representativo de los verdaderos valores de las estaciones. Esto podría implicar (FERNÁNDEZ CANCIO, A., MANRIQUE, E., 1996) una cierta permisividad en la rigidez de los límites de existencia de cada recinto fitoclimático.

Los estudios sobre Cambios Fitoclimáticos actuales también pueden verse involuntariamente afectados por la limitación impuesta por series de datos demasiado cortas ya que no permiten observar con suficiente profundidad la evolución de los factores y variables climáticas.

Los valores máximos generales de las temperaturas en los últimos 50 años pueden estar teniendo incrementos mas suaves de lo que se deduce introduciendo los núcleos urbanos. Por otra parte no parece que estemos en la fase mas árida ni en la que mayor déficit hídrico ha habido; por el contrario, parece una de las fases de mayor pluviometría total y estival.

Analizando primero los factores ligados a la precipitación en todas las estaciones (A , K, P) y posteriormente las temperaturas (TMF,T,TMC,TMMF,TMMC), separando y sin separar los núcleos de población, se concluye lo siguiente: Sobre la muestra analizada y el período elegido la hipótesis de algún cambio climático o fitoclimático en tendencia parece ser estadísticamente rechazable con respecto a las precipitaciones, temperaturas sin considerar los grandes núcleos de población y cambios de subtipo fitoclimático. Considerando los núcleos de población y el período 1850-1994 los signos de incremento de temperatura son lo suficientemente numerosos, aunque no estadísticamente significativos, como para mantener la alerta sobre la posibilidad de que se materialice la hipótesis de un calentamiento entorno a 2° C en media sobre el año 2050.

La variabilidad interanual y en intervalos cortos de las variables climáticas, fitoclimáticas y sus subtipos anuales asociados parece estar aumentando de nuevo, generando sucesos extremos desde 1890 hasta la actualidad, aunque en menor frecuencia que en la PEG. Dado que la asociación de estos sucesos con la letalidad (FONT TULLOT, 1988) ha sucedido en el pasado no se puede descartar que determinados episodios de la Seca actual sean causa directa de la variabilidad climática. Parece, pues, importante crear una fitoclimatología en base a la variabilidad como complemento a la fitoclimatología de los compendios e incluso integrar la información de varios sistemas fitoclimáticos para alcanzar una mejor comprensión de las relaciones clima-vegetación.

Por lo anteriormente expuesto la mortalidad actual por Seca parece surgir mas bien de un proceso aleatorio dentro de la variabilidad natural del clima mediterráneo, quizá no definitivamente superado, pero que no parece sostenido en tendencia ni, por tanto, irreversible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLUÉ ANDRADE, J.L. (1990). *Atlas Fitoclimático de España Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA): 221 p. Madrid.

ALLUÉ ANDRADE, J.L. (1995). *Estudio del cambio climático en los montes españoles*. Actas del Seminario sobre deterioro de los Montes y Cambio Climático . 24-63. Madrid.

CREUS, J.& FERNÁNDEZ-CANCIO, A. (1992). *Cuantificación del clima pasado a partir de series dendrocronológicas. Síntesis metodológica*. Actas del 5º Coloquio de Geografía Cuantitativa : 397-407. Universidad de Zaragoza.

FERNÁNDEZ CANCIO, A. & MANRIQUE MENÉNDEZ, E. (1996). *Nuevas aportaciones metodológicas en la investigación sobre la evolución del clima y del fitoclima en el último milenio*. Comunicación presentada a la II Reunión del grupo de trabajo de Fitoclimatología y Cambio Climático. (SECF) . Madrid 4 de Noviembre de 1996. EUIT Forestal.

FERNÁNDEZ MELÉNDEZ, J.A. & MONTERO GONZÁLEZ, G. (1993). *Prospección de secas en Quercus de Extremadura y La Mancha*. Revista Montes, nº 32, 2º trim. de 1993: 32-36.

FONT TULLOT, I. (1988). *Historia del clima de España*. Instituto Nacional de Meteorología. Mº de Transportes, Turismo y Comunicaciones. 297 p. Madrid.

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

MANRIQUE MENÉNDEZ, E. (1993). *Informatización de sistemas fitoclimáticos*. Actas del Congreso Forestal Español Lourizan-1993 (Tomo I): 99-103.

MANRIQUE MENÉNDEZ, E. & FERNÁNDEZ CANCIO, A. (1995). *El papel de la dendroclimatología en el estudio del cambio climático actual*. Actas del Seminario sobre Deterioro de los Montes y Cambio Climático. 15-31. Madrid.

Prec. en mm.

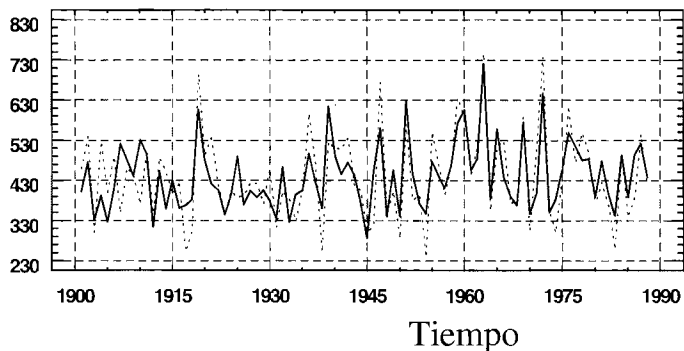


Figura 1. Precipitación real y estimada de Madrid entre 1900 y 1988 con coeficiente de determinación  $r^2 = 0.62$  y 64 grados de libertad. En línea continua los valores estimados y en línea de puntos los reales.

Prec. en mm.

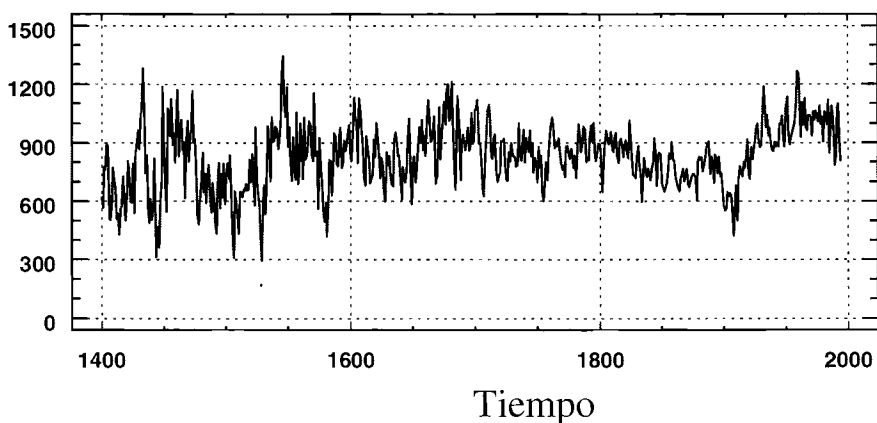


Figura 2. Precipitación total de La Coruña desde 1400 incluida la PEG y la crisis del siglo XX.

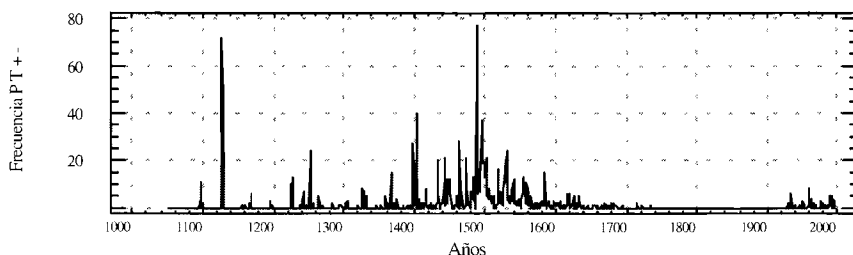


Figura 3. Frecuencia de valores fuera de rango en Precipitaciones y Temperaturas positivas y negativas en todas las variables de 18 estaciones meteorológicas. Medida de la variabilidad actual y pasada y evolución de la PEG.