

EL CLIMA DE LA RIOJA DESDE EL SIGLO XV. RECONSTRUCCIONES DENDROCLIMÁTICAS DEL OBSERVATORIO DE HARO*

MIGUEL ÁNGEL SAZ SÁNCHEZ ¹
JOSÉ CREUS NOVAU ²

RESUMEN

En este trabajo se presentan los aspectos fundamentales de la evolución del clima de Haro, observatorio situado en el sector noroccidental de La Rioja, desde el siglo XV, a partir de la información aportada por las reconstrucciones dendroclimáticas de la temperatura y la precipitación trimestral y anual. En esta evolución, destacan las características climáticas del siglo XVI, momento en el que parece situarse la fase más álgida de la Pequeña Edad del Hielo (PEH) en esta zona, así como otras anomalías importantes en los siglos XVII y en menor medida en el XVIII.

Palabras clave: La Rioja, Haro, Paleoclimatología, Dendroclimatología, Pequeña Edad del Hielo

This paper presents the main aspects of the climatic evolution since 15th century in Haro, a weather station located in the nordwest sector of La Rioja (Spain). Such aspects are based on the information of the dendroclimatic reconstructions of seasonal and annual temperatures and rainfall. In this evolution, it is relevant to highlight the climatic features of the 16th century. Indeed, they correspond to the highest period of the Little Ice Age (LIA) in this area, as well as to the greater climatic anomalies of the 17th and 18th centuries.

Keywords: La Rioja, Haro, Paleoclimatology, Dendroclimatology, Little Ice Age

* Recibido en noviembre de 2002. Aceptado el 16 de enero de 2003.

1. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza Pedro Cerbuna 12, 50.009, Zaragoza. masaz@posta.unizar.es
2. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), Avda. Regimiento de Galicia s/n Apdo. 64, 22.700 Jaca, Huesca. jcreus@ipe.csic.es

0.- INTRODUCCIÓN

Las características del clima en un determinado espacio geográfico no podemos considerarlas como un fenómeno invariable en el tiempo. Muy al contrario, los parámetros utilizados para definirlos, en general medidas de centralidad y dispersión, oscilan alrededor de unos valores medios, pudiendo suceder que durante algunos años o grupos de ellos los límites aparentemente normales de variación se superen. Esta variabilidad, capaz de dejar huellas evidentes en los elementos bióticos o abióticos del paisaje, es perceptible sea cual sea la escala temporal analizada, e independientemente del nivel tecnológico o cultural alcanzado por una sociedad ha podido condicionar el desarrollo de sus actividades sobre el territorio.

El análisis de la evolución pasada del clima y su interpretación puede realizarse a través de distintas fuentes de información. El más cercano quedaría bien cubierto gracias a los datos suministrados por los organismos meteorológicos nacionales, que aunque no libres de problemas (como más comunes la falta de información en algunos tramos de las series temporales y su frecuente falta de homogeneidad) nos proporcionan una buena imagen del acontecer climático de los últimos 100 años. Sin embargo, para momentos anteriores la información instrumental es prácticamente inexistente, reduciéndose en nuestro país a las series barométricas y termométricas iniciadas en Madrid en 1737 y a otras observaciones regulares desarrolladas a lo largo del siglo XVIII en Barcelona y Gibraltar (Font, 1988; Barriendos *et al*, 1997)

Es sin embargo el periodo anterior a la Revolución Industrial y en especial a la masiva industrialización del siglo XX, uno de los más interesantes desde el punto de vista de los estudios climáticos. La masiva intervención antrópica sobre el sistema climático parece ser, a todas luces, evidente (Houghton *et al*, 1996; Houghton *et al*, 2001), modificando los que podríamos considerar como sus patrones naturales de comportamiento. Conocer la evolución del clima en condiciones atmosféricas no intervenidas y que por tanto podríamos considerar como naturales, facilitaría una más correcta evaluación de la magnitud y la trascendencia de las posibles alteraciones detectadas en la actualidad, al poder ponerlas en relación con las identificadas en centurias precedentes.

Una de las técnicas que mejores resultados ofrece en la reconstrucción del clima de época preinstrumental, en particular en el contexto temporal del último milenio, es la dendroclimatología (Jones *et al*, 1998), cuya finalidad es extraer la información climática que contienen las series de crecimiento anual de las especies leñosas en las latitudes templadas (dendrocronologías) reconstruyendo el clima del pasado en función de la respuesta actual de las plantas a las variaciones del clima (Creus, 2000).

Esta metodología presenta la ventaja de proporcionarnos información de carácter cuantitativo de las temperaturas (en grados Celsius) y precipitación (en mm) de las pasadas centurias, una información continua en el tiempo, de correcta datación absoluta y de una resolución temporal anual e incluso trimestral, con la única limitación que supone la longevidad de los árboles utilizados para generar las cronologías, fuente de información fundamental junto a la información de carácter instrumental para el proceso de reconstrucción dendroclimática.

Las reconstrucciones dendroclimáticas se basan en el principio de que el crecimiento radial de las leñosas está condicionado fundamentalmente por el clima, hasta el punto de minimizar los efectos de otros parámetros que también tienen

capacidad para regular ese crecimiento (Fritts, 1976). Estos parámetros, considerados como ruido no climático, deberán ser eliminados durante el desarrollo metodológico de las reconstrucciones (Fritts, 1976; Guiot, 1990; Fritts, 1991; Cook y Kairiukstis, 1990) definiendo algunos autores el anillo anual como el lugar donde la planta codifica los impulsos procedentes de su entorno ambiental, en particular los climáticos (Corona, 1990). La dendroclimatología individualiza y analiza la relación entre el anillo anual y las variables climáticas. La decodificación de ese registro a partir de la definición de la respuesta actual de la planta al clima, constituye una de las bases de las reconstrucciones, puesto que conocida esa relación en el presente es posible extrapolarla hacia el pasado.

1.- LAS FUENTES DE INFORMACIÓN Y LOS DATOS RECONSTRUIDOS

Los datos utilizados para este trabajo son las series de la temperatura media y precipitación, trimestral y anual reconstruidas a partir de la información instrumental del observatorio de Haro y varias series dendrocronológicas. Esta localidad riojana está situada en la confluencia entre los ríos Tirón y Ebro, en la comarca más noroccidental de La Rioja. Su altura sobre el nivel del mar es de 479 mts, en una zona en la que climáticamente aparecen importantes matices de continentalidad, debido a su posición interior en el Valle del Ebro, pero percibiéndose cierta influencia oceánica (figura 1).

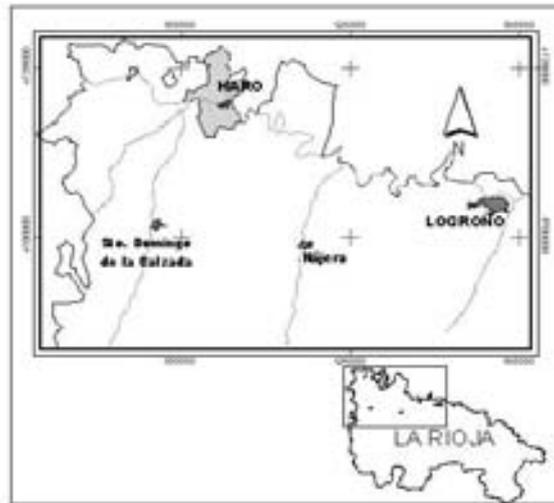


Figura 1.- Mapa de localización de Haro.

Para realizar la reconstrucción del clima de los últimos siglos en ese observatorio se utilizaron dendrocronologías construidas a partir de las muestras extraídas del crecimiento radial de los árboles seleccionados en varios puntos del noreste español. Los crecimientos anuales se midieron con una precisión de 0,01 mm y posteriormente se dataron y sincronizaron con objeto de insertar los anillos ausentes o

eliminar los falsos. Esas series de crecimiento, tras ser estandarizadas y transformadas en índices, pueden agruparse para formar una cronología local independientemente de la edad de cada árbol. Cualquier reconstrucción de una variable climática requiere un mínimo de estas cronologías (el número mínimo aconsejable es de 5 o 6), aunque a mayor número de cronologías son más las variables que pueden ser reconstruidas a la vez que aumenta la fiabilidad de la reconstrucción.

El conjunto de cronologías utilizadas para la reconstrucción de las variables térmicas y pluviométricas de Haro han sido: Larra (*Pinus uncinata*), en el Pirineo Navarro; Barranco de la Herida (*Pinus sylvestris*), en la Cordillera Ibérica Soriana; Mu-chachón (*Pinus sylvestris*), en la Cordillera Ibérica Soriana; Castillo de Vinuesa (*Pinus uncinata*), en la Cordillera Ibérica Soriana; Neila (*Pinus sylvestris*), en la Cordillera Ibérica Burgalesa. Además se utilizaron otras más distantes pero que mostraban una elevada sincronización en la señal de media y alta frecuencia. Son los casos de Sietepicos (*Pinus sylvestris*), en el Sistema Central; Pinobajo (*Pinus uncinata*), en el Pirineo Oscense; Torretón (*Pinus nigra*), en la Cordillera Ibérica Conquense y Barranco del Infierno (*Pinus nigra*), en la Cordillera Ibérica Conquense.

La metodología tradicional utilizada en este tipo de reconstrucciones del clima puede consultarse en la amplia bibliografía existente (entre otros Fritts, 1976; Cook y Kairiukstis, 1990; Guiot 1990, Fritts, 1991). Sin embargo, recientemente se han realizado modificaciones en dicha metodología (Fernández, 1997), con el fin de poder utilizar conjuntamente un mayor número de cronologías siempre que tengan una elevada sincronización entre sí, aún en distancias espaciales importantes. Al intervenir un mayor número de predictores en el proceso (cronologías), la señal climática reconstruible se incrementa de manera importante al depender de la que aportan conjuntamente. De esta forma ha sido posible reconstruir todos los valores trimestrales de precipitación y temperatura, además de los anuales obtenidos por simple sumatorio o promedio de los valores trimestrales.

En la tabla 1 se señala la longitud de las reconstrucciones realizadas en el observatorio de Haro. En las figuras 2 y 3 se han representado gráficamente las series reconstruidas de temperatura y precipitación.

En cuanto a la calidad de esta información, en la tabla 2 se señala la varianza explicada (R^2) entre las variables reales y las estimadas por el modelo para las reconstrucciones de la temperatura y la precipitación respectivamente. La bibliografía recomienda que para poder considerar como fiable una reconstrucción, ésta debe explicar el menos el 32% de la varianza de los datos reales. En nuestro caso vemos que ese valor supera ampliamente el umbral recomendado por la bibliografía, con variables que incluso alcanzan R^2 de hasta 0,65.

TABLA 1.- LONGITUD DE LAS SERIES RECONSTRUIDAS DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN TRIMESTRAL Y ANUAL EN EL OBSERVATORIO DE HARO

	PRIMER TRIMESTRE	SEGUNDO TRIMESTRE	TERCER TRIMESTRE	CUARTO TRIMESTRE	ANUAL
TEMPERATURAS	1166-1992	1366-1992	1323-1992	1385-1991	1385-1991
PRECIPITACIONES	1568-1992	1495-1992	1458-1992	1355-1992	1568-1992

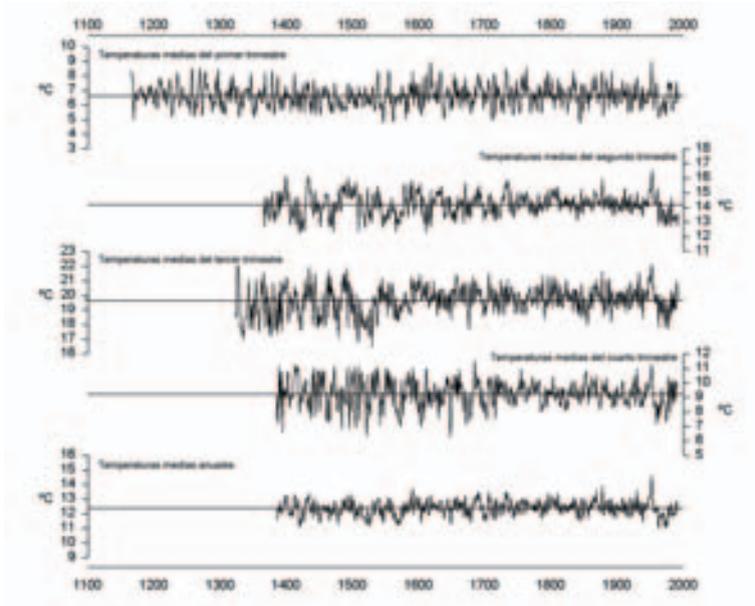


Figura 2.- Series reconstruidas de las temperaturas medias trimestrales y anual (°C) en el observatorio de Haro.

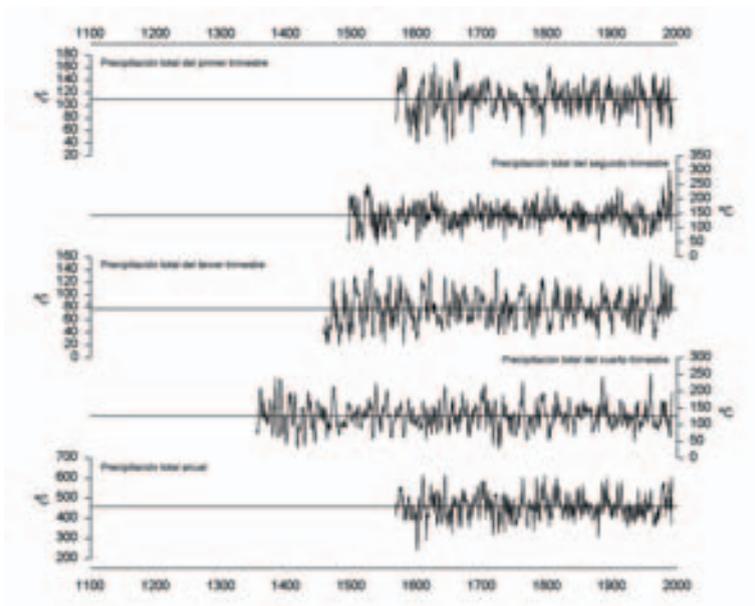


Figura 3.- Series reconstruidas de las precipitaciones totales trimestrales y anual (mm.) en el observatorio de Haro

TABLA 2.- VARIANZA EXPLICADA (R^2) ENTRE LAS VARIABLES REALES Y LAS ESTIMADAS EN LAS RECONSTRUCCIONES DE LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN EL OBSERVATORIO DE HARO

	PRIMER TRIMESTRE	SEGUNDO TRIMESTRE	TERCER TRIMESTRE	CUARTO TRIMESTRE
TEMPERATURAS	0,64	0,65	0,61	0,63
PRECIPITACIONES	0,45	0,44	0,62	0,50

2.- CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LAS RECONSTRUCCIONES

2.1.- Aleatoriedad

Con objeto de realizar una primera aproximación a las características estadísticas de las series de temperatura y precipitación reconstruidas, se ha evaluado mediante el test de rachas la posibilidad de que éstas tengan o no una estructura interna aleatoria.

Este test contabiliza el número de secuencias de valores por encima o por debajo del de la mediana que existen en la serie temporal analizada, comparando posteriormente el número de rachas con su valor esperado para series aleatorias según sea el número total de datos de la serie (Essenwanger, 1986), indicando la no aleatoriedad la presencia de algún tipo de organización interna, como tendencias o ciclos estadísticamente significativos, cuestiones que serán exploradas con posterioridad.

En todos los casos, el número de rachas contabilizadas es inferior al esperado para series aleatorias (tabla 3), siendo los *p-valor* calculados por el test de cero, excepto en la serie de la precipitación del segundo trimestre, en el que es de 0,008. A partir de estos resultados, puede rechazarse tanto en las series térmicas como pluviométricas la hipótesis de aleatoriedad, a un nivel de significación $\alpha=0,01$.

TABLA 3.- RESULTADOS DEL TEST DE RACHAS APLICADO A LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS EN HARO

Variable	Nº de rachas contabilizadas	Nº de rachas esperadas	P valor del test	Serie aleatoria	Nivel de significación
T media 1 ^{er} trimestre	414	291	0,00	NO	$\alpha=0,01$
T media 2 ^o trimestre	313	203	0,00	NO	$\alpha=0,01$
T media 3 ^{er} trimestre	336	244	0,00	NO	$\alpha=0,01$
T media 4 ^o trimestre	303	196	0,00	NO	$\alpha=0,01$
T media anual	281	189	0,00	NO	$\alpha=0,01$
P total 1 ^{er} trimestre	213	143	0,00	NO	$\alpha=0,01$
P total 2 ^o trimestre	250	220	0,008	NO	$\alpha=0,01$
P total 3 ^{er} trimestre	268	164	0,00	NO	$\alpha=0,01$
P total 4 ^o trimestre	320	186	0,00	NO	$\alpha=0,01$
P total anual	213	160	0,00	NO	$\alpha=0,01$

2.2.- Ajuste a la normal

Para comprobar la hipótesis de normalidad se ha aplicado el test de Kolmogorov (Watson, 1961, 1962; Pearson, 1963; Essenwanger, 1986), basado en la determinación de la desviación máxima esperable en una distribución de frecuencias acumuladas.

Los resultados (tabla 4) indican que en el caso de las series térmicas, la de las temperaturas medias del tercer trimestre y la de la temperatura media anual ofrecen un ajuste deficiente a esa distribución, si bien rebajando el umbral de significación a $\alpha=0,10$ podría aceptarse la bondad del ajuste, mientras que en las series de precipitación total todas las series ofrecerían un buen ajuste a la distribución normal.

TABLA 4.- RESULTADOS DEL TEST DE KOLMOGOROV APLICADO A LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS EN HARO

Variable	P valor del test	Ajuste a la distribución normal	Nivel de significación
T media 1 ^{er} trimestre	0,317	SI	$\alpha=0,05$
T media 2 ^o trimestre	0,917	SI	$\alpha=0,05$
T media 3 ^{er} trimestre	0,046	NO	$\alpha=0,05$
T media 4 ^o trimestre	0,867	SI	$\alpha=0,05$
T media anual	0,065	NO	$\alpha=0,05$
P total 1 ^{er} trimestre	0,311	SI	$\alpha=0,05$
P total 2 ^o trimestre	0,29	SI	$\alpha=0,05$
P total 3 ^{er} trimestre	0,613	SI	$\alpha=0,05$
P total 4 ^o trimestre	0,346	SI	$\alpha=0,05$
P total anual	0,524	SI	$\alpha=0,05$

2.3.- Tendencias generales

La no aleatoriedad de las series señalada anteriormente, sugiere la existencia en ellas de algún tipo de organización interna de los datos. Una de las posibilidades es la existencia de tendencias, positivas o negativas, estadísticamente significativas.

Para evaluar la presencia de tendencias, se ha realizado el ajuste lineal de cada una de las series, se han calculado las pendientes de las rectas y los coeficientes de correlación y se ha aplicado a éstos un test de significación. El resultado obtenido es que en las temperaturas la serie de las medias anuales y la del tercer trimestre ofrecen tendencias significativas. En las series de precipitación únicamente el coeficiente de correlación obtenido para la serie del tercer trimestre supera los niveles de significación exigidos (tabla 5).

En el caso de las temperaturas medias anuales, el valor ofrecido por el coeficiente de correlación, de tan solo 0,08, es estadísticamente significativo a un nivel $\alpha=0,05$, siendo la pendiente calculada para la recta de ajuste de +0,0003. A pesar de su significación, la importancia de este valor de pendiente a la escala temporal analizada es muy escasa ya que representa una tendencia positiva de +0,03° por

TABLA 5.- TENDENCIAS GENERALES DE LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS EN HARO

Variable	Coefficiente de correlación	Pendiente de la recta	Tendencia significativa	Nivel de significación
T media 1 ^{er} trimestre	0.01	0	NO	$\alpha=0,01$
T media 2 ^o trimestre	0.028	0.0001	NO	$\alpha=0,01$
T media 3 ^{er} trimestre	0.21	0.001	SI	$\alpha=0,01$
T media 4 ^o trimestre	-0.04	0	NO	$\alpha=0,01$
T media anual	0.08	0.0003	SI	$\alpha=0,05$
P total 1 ^{er} trimestre	0.03	0.006	NO	$\alpha=0,01$
P total 2 ^o trimestre	0.015	0.004	NO	$\alpha=0,01$
P total 3 ^{er} trimestre	0.088	0.0141	SI	$\alpha=0,05$
P total 4 ^o trimestre	0.01	0.0011	NO	$\alpha=0,01$
P total anual	0.004	0.0021	NO	$\alpha=0,01$

siglo a lo largo de los 607 años analizados, lo que supone que habrían de pasar 3.300 años, manteniéndose esa misma tendencia, para que se alcanzase un incremento promedio de +1°C. En la serie de las temperaturas medias del tercer trimestre, el coeficiente de correlación es más alto, de 0,21, siendo también mayor el nivel de significación alcanzado, $\alpha=0,01$. La pendiente calculada para la recta de regresión, de +0,0011, supone que existe una tendencia de las temperaturas medias del tercer trimestre durante los 670 años analizados, de +0,11° por siglo. Aunque tampoco es una tendencia elevada, podemos darle mayor importancia que a la obtenida a partir de los promedios anuales, puesto que de mantenerse durante un milenio el incremento medio de las temperaturas de verano sería de +1,1°C.

En la serie de la precipitación total del tercer trimestre, el valor del coeficiente de correlación es de sólo 0,088, aunque ha resultado superar el umbral de significación $\alpha=0,05$, siendo el valor de la pendiente de 0,0141, lo que significa una tendencia positiva de la precipitación de +1,41 mm/siglo, valor de muy escasa significación climática.

2.4.- Análisis espectral y presencia de ciclos

La no aleatoriedad de las series puede ser también señal de la existencia de periodicidades significativas. La técnica utilizada para rastrear alguna posible componente cíclica ha sido el análisis espectral, metodología derivada del más conocido análisis armónico o de Fourier (Essenwanger, 1986).

El periodograma resultante de este análisis, muestra en qué proporción contribuyen cada uno de los armónicos de la serie a la varianza total, es decir, qué cantidad de la varianza está asociada a cada una de las frecuencias del periodograma. Para conocer si una frecuencia es significativa, se ha utilizado el test de Fisher o del estadístico G (Davis, 1986, Swan y Sandilands, 1995), basado en la relación exis-

tente entre la máxima varianza asociada a una determinada frecuencia ($s^2_{\text{máx}}$) y la varianza total de la serie (s^2):

$$G = s^2_{\text{máx}} / 2s^2$$

El ciclo es significativo si el valor G de esta relación es igual al valor crítico G_c , calculado según la siguiente fórmula:

$$G_c = 1 - e^{(\ln p - \ln m) / m - 1}$$

siendo $\ln p$ el logaritmo neperiano de el nivel de probabilidad elegido y m la mitad del número total de datos de la serie (para series con más de 30 datos).

Aplicada esta metodología a las series de datos térmicos y pluviométricos reconstruidos, sólo en el caso de la temperatura media del segundo trimestre y en la precipitación total del tercer trimestre se detectan frecuencias estadísticamente significativas, de una longitud de 52,2 y 16,7 años (tabla 6).

TABLA 6.- RESULTADOS DEL TEST DE FISHER APLICADO A LOS PERIODOGRAMAS DE LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS EN HARO

Variable (datos brutos)	Varianza máxima del periodograma	Longitud del ciclo en años	Varianza total acumulada	Ciclo significativo
T media 1 ^{er} trimestre	11.89	14.5	442.69	NO
T media 2 ^o trimestre	18.27	52.2	335.20	SI ($\alpha=0,10$)
T media 3 ^{er} trimestre	18.64	167.5	616.81	NO
T media 4 ^o trimestre	18.00	21.7	512.29	NO
T media anual	5.62	50.6	157.6	NO
P total 1 ^{er} trimestre	9520,5	17,7	228051	NO
P total 2 ^o trimestre	43033	99,6	747792	NO
P total 3 ^{er} trimestre	17915	16,7	325153	SI ($\alpha=0,10$)
P total 4 ^o trimestre	36028	14,8	879654	NO
P total anual	45806	15,7	1546880	NO

El análisis de los periodogramas resultantes del análisis espectral indica que en ninguno de ellos es importante la proporción de la varianza recogida por frecuencias de longitud inferior a los 0,3 ciclos por año. Esto plantea la posibilidad de aplicar algún filtro que elimine esa variabilidad de alta frecuencia, aumentando así previsiblemente la proporción de varianza asociada a las frecuencias intermedias y bajas (Saz y Creus, 2000). Para ello se utilizó una media móvil de tres años, aplicada a los datos originales, y se empleó la misma metodología, análisis espectral de las nuevas series y test de Fisher.

Los resultados del nuevo análisis en las series térmicas (tabla 7) muestran ahora la presencia de distintos ciclos significativos: dos en el primer trimestre, de 15 y 19,7 años; tres en el segundo, de 52,2, 48,2 y 32,9 años; tres en el tercero, de 167,2, 66,9 y 55,8 años; dos en el cuarto, de 21,6 y 24,2 años ; y finalmente dos también en la serie de datos anuales, de 50,5 y 46,6 años.

TABLA 7.- RESULTADOS DEL TEST DE FISHER APLICADO A LOS PERIODOGRAMAS DE LAS SERIES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN RECONSTRUIDAS EN HARO FILTRADAS MEDIANTE UNA MEDIA MÓVIL DE TRES AÑOS

Variable	Varianza máxima del periodograma	Longitud del ciclo en años	Varianza total acumulada	Ciclo significativo	Otros ciclos sign (años)
T media 1 ^{er} trimestre	10.26	15	257.31	SI ($\alpha=0,01$)	19,7
T media 2 ^o trimestre	18.52	52.2	221.48	SI ($\alpha=0,01$)	48,2; 32,9
T media 3 ^{er} trimestre	18.82	167.2	376.42	SI ($\alpha=0,10$)	66,9; 55,8
T media 4 ^o trimestre	16.59	21.6	295.90	SI ($\alpha=0,10$)	24,2
T media anual	5.56	50.5	97.46	SI ($\alpha=0,10$)	46,6
P total 1 ^{er} trimestre	8281,8	17,7	133986	SI ($\alpha=0,10$)	#
P total 2 ^o trimestre	42436	99,4	356771	SI ($\alpha=0,10$)	#
P total 3 ^{er} trimestre	15901,6	16,7	207353	SI ($\alpha=0,10$)	#
P total 4 ^o trimestre	32532,7	14,8	576202	SI ($\alpha=0,10$)	#
P total anual	41845	30,3	790542	NO	#

En las series de precipitación, excepto en la serie de datos anuales, aparecen ciclos significativos. En el primer trimestre de 17,7 años, en el segundo de 99,4, en el tercero de nuevo el de 16,7 años y en el cuarto de 14,8 años.

2.5.- Principales estadísticos

Para completar esta caracterización estadística de las series térmicas y pluviométricas reconstruidas en Haro, se han calculado varios parámetros estadísticos que consideramos de particular interés (tablas 8 y 9). En concreto, se han obtenido la media, junto a sus límites superior e inferior de confianza (ISCM y IICM), la media-

TABLA 8.- ESTADÍSTICOS PRINCIPALES DE LA SERIES TÉRMICAS RECONSTRUIDAS EN HARO

	T media 1 ^{er} trimestre		T media 2 ^o trimestre		T media 3 ^o trimestre		T media 4 ^o trimestre		T media anual	
	1166-1992	1850-1950	1366-1992	1850-1950	1323-1992	1850-1950	1385-1991	1850-1950	1385-1991	1850-1950
Media	6.64	6.73	14.2	14.32	19.65	19.88	9.25	9.32	12.38	12.50
ISCM	6.67	6.85	14.26	14.41	19.73	20.03	9.30	9.44	12.43	12.59
IICM	6.6	6.60	14.14	14.23	19.58	19.74	9.20	9.19	12.34	12.41
Mediana	6.63	6.70	14.19	14.24	19.75	19.87	9.28	9.26	12.4	12.50
Varianza	0.54	0.40	0.54	0.20	0.92	0.51	0.84	0.39	0.26	0.20
Desv st	0.73	0.63	0.73	0.45	0.96	0.72	0.92	0.62	0.51	0.44
Error st	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04	0.07	0.04	0.06	0.02	0.04
Mín	4.80	5.25	12.25	13.39	16.46	17.98	6.30	8.16	11.00	11.40
Máx	9.00	8.34	16.52	15.98	22.1	21.65	11.53	11.02	14.60	13.90
Quintil 1	6.02	6.23	13.58	13.98	18.83	19.23	8.50	8.86	11.90	12.10
Quintil 2	6.44	6.59	14.02	14.17	19.52	19.75	9.04	9.05	12.30	12.40
Quintil 3	6.77	6.85	14.40	14.38	19.96	20.05	9.51	9.48	12.50	12.60
Quintil 4	7.23	7.18	14.78	14.70	20.44	20.50	10.03	9.81	12.80	12.90
Ses st	2.88	1.07	-0.15	2.39	-4.04	-0.07	-2.08	1.55	0.66	1.24
Curt st	-0.39	0.29	-0.17	1.81	0.19	0.10	-0.14	-0.55	1.58	0.81
Coef correl	0.01	-0.22	0.028	-0.11	0.21 ^{***}	0.22	-0.04	-0.21 ^{''}	0.08 ^{''}	-0.083
Pte recta	0.00	-0.01	0.0001	0.00	0.001	0.01	-0.00022	0.00	0.00025	-0.0012
Coef var	11.03	9.38	5.15	3.15	4.89	3.60	9.94	6.70	4.12	3.56

TABLA 9.- ESTADÍSTICOS PRINCIPALES DE LA SERIES PLUVIOMÉTRICAS RECONSTRUIDAS EN HARO

	P total 1º trimestre		P total 2º trimestre		P total 3º trimestre		P total 4º trimestre		P total anual	
	1568-1992	1850-1950	1495-1992	1850-1950	1458-1992	1850-1950	1355-1992	1850-1950	1568-1992	1850-1950
Media	110.06	111.53	142.97	138.23	77.66	76.39	125.74	126.67	458.65	452.64
ISCM	111.62	115.34	146.39	145.26	79.75	80.13	127.76	132.75	462.72	462.70
IICM	108.51	107.71	139.56	131.21	75.56	72.66	123.73	120.59	454.58	442.57
Mediana	110.52	110.91	142.125	139.56	77.07	77.04	124.41	124.95	456.8	451.00
Varianza	537.86	373.84	1504.61	1266.86	608.9	357.57	1380.93	948.72	3648.29	2601.16
Desv st	23.19	19.33	38.79	35.59	24.68	18.91	37.16	30.80	60.40	51.00
Error st	1.12	1.92	1.74	3.54	1.067	1.88	1.47	3.06	2.93	5.07
Mín	40.05	64.08	42.96	52.47	20.46	30.45	26.49	50.19	241.90	306.30
Máx	171.3	151.08	300.3	238.65	152.88	120.51	252.78	242.25	615.30	601.70
Quintil 1	90.93	96.18	112.77	109.32	55.55	60.87	94.11	99.15	406.20	408.80
Quintil 2	106.39	108.24	133.62	129.51	69.87	72.21	115.56	115.89	445.90	444.40
Quintil 3	115.65	115.50	150.96	148.92	83.40	79.80	132.09	132.60	468.75	459.20
Quintil 4	129.72	128.64	172.41	168.69	99.72	91.17	155.28	149.55	506.55	483.30
Ses st	-2.55	-0.77	1.43	-0.14	2.13	0.29	3.12	2.85	0.50	2.19
Curt st	1.46	-0.57	1.62	0.11	-1.28	-0.14	1.41	2.72	1.04	2.05
Coef correl	0.03	0.04	0.015	-0.03	0,088"	-0.10	0.01	-0.24	0,0043	-0.19
Pte recta	0.0058	0.02	0.004	0.04	0.0141	-0.07	0.0011	-0.25	0.0021	-0.34
Coef var	21.07	17.34	27.13	25.75	31.78	24.75	29.55	24.32	13.17	11.27

na, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, error estándar, mínimo y máximo, así como el sesgo y la curtosis estandarizadas de la distribución.

Estos parámetros han sido calculados para la serie completa así como para el periodo 1850-1950 por ser este el utilizado en el análisis posterior de la información térmica y pluviométrica reconstruida como periodo de referencia para la comparación entre medias o el cálculo de las anomalías respecto a un valor medio.

Su elección como periodo de referencia se justifica por ser un intervalo temporal que queda fuera de la cronología tradicionalmente asignada en Europa Occidental para la Pequeña Edad del Hielo (Gribbin y Lamb, 1979; Jacoby y D'arrigo, 1989; Jones *et al*, 1998; Mann *et al*, 1998) y de las tendencias climáticas más recientes (Houghton *et al*, 1996) identificadas en una atmósfera fuertemente intervenida por la actividad antrópica. En muchos de los estudios realizados sobre cambio climático, incluidos los desarrollados por el IPCC, suele utilizarse como periodo de referencia el último periodo normal OMM (1961-90). Pero frente a este aparente consenso, en los estudios de paleoclimatología no parece existir un acuerdo generalizado por parte de los investigadores a la hora de establecer un periodo común para la comparación. En nuestro caso, análisis preliminares realizados sobre información dendroclimática reconstruida en el cuadrante nororiental de España (Creus y Saz, 1999; Saz y Creus, 1999) indicaban para el periodo 1850-1950 unos niveles de variabilidad moderados en el contexto de las últimas centurias y desde luego inferiores, en todos los casos, a los observados en el periodo 1961-90, lo que junto a una cronología que quedaría fuera de la de los eventos climáticos en principio más notables de nuestro milenio, lo hacen a nuestro juicio más aconsejable que el comúnmente utilizado 1961-90.

3.- ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN PLURISECULAR DE LAS TEMPERATURAS EN HARO Y SU RELACIÓN CON LO OBSERVADO EN EL CONTEXTO EUROPEO

Para el estudio de la evolución de las temperaturas en este observatorio riojano, los datos obtenidos en las reconstrucciones, representados gráficamente en la

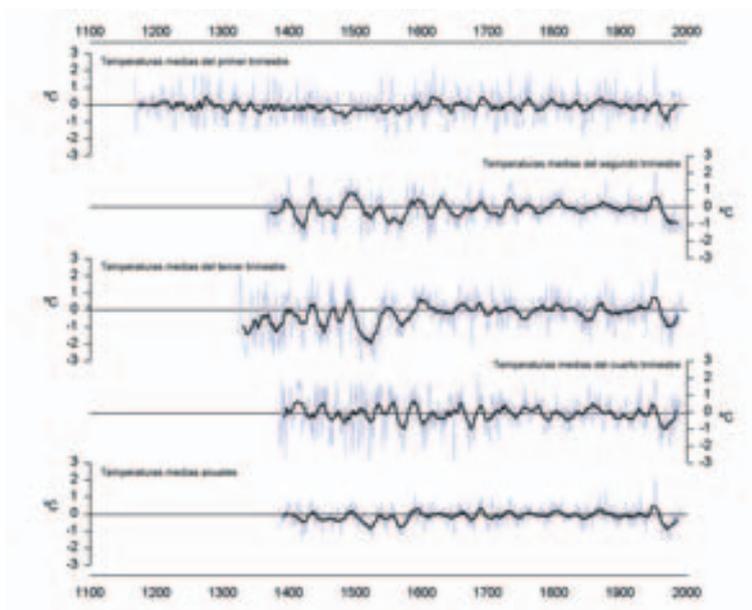


Figura 4.- Series reconstruidas de las temperaturas trimestrales y anual en Haro en diferencias respecto de la media del periodo 1850-1950 y suavizado mediante media móvil de 15 años.

figura 2, han sido transformados en diferencias respecto de la media del periodo 1850-1950. Estos nuevos datos han sido representados gráficamente en la figura 4, habiéndose aplicado además a cada una de estas series un filtro de media móvil de 15 años. Este filtrado permite reducir la variabilidad natural de la series climáticas (Sneyers, 1992) a la vez que facilita la detección de periodos anómalos.

Estas reconstrucciones nos permiten obtener una buena imagen de cuál ha sido la evolución de las temperaturas en Haro desde el tramo final del siglo XV, con variables que, como en el caso de las temperaturas medias del primer trimestre, informarían sobre su evolución desde el tercio final del siglo XIII.

En definitiva, una información que nos permite introducirnos en el análisis de las temperaturas desde el siglo XV cubriendo así los últimos seis siglos, un periodo de particular importancia desde el punto de vista de la paleoclimatología por permitirnos comparar la evolución climática actual, en una atmósfera intervenida por el hombre, con la de los momentos anteriores a esa intervención, además de reconocerse en ese periodo uno de los episodios climáticos más destacables del Holoceno, la Pequeña Edad del Hielo (PEH), caracterizada en la Europa Occidental y Septentrional por un descenso generalizado de las temperaturas, así como por anomalías en el régimen pluviométrico.

Las características anómalas de ese episodio, cuyo comienzo algunos autores señalan a lo largo del tramo final del siglo XVI (Bradley y Jones, 1992; Pfister, 1992; Jones *et al*, 1998; Mann *et al*, 1999), frente a un comienzo más temprano en el tercio final del siglo XV, propuesto por Lamb (1972 y 1988), Gribbin y Lamb (1979) o

Lockwood (1979), fueron percibidas como extraordinarias por sus contemporáneos, afectando a aspectos importantes para el desarrollo de las sociedades de la época, como el precio del cereal (Bauernfeind y Waitek, la producción vitícola (Landsteiner, 1999), los movimientos naturales de población (Galloway, 1994) e incluso las mentalidades (Behringer, 1999).

Episodios pluriseculares como este, en los que las condiciones térmicas y pluviométricas generales son a escalas territoriales continentales o hemisféricas, cualitativamente más cálidas o frías y secas o húmedas, parecen ser característicos del periodo climático actual, conocido como Subatlántico, que además de esos episodios presenta fases de mayor frecuencia, de una duración media de entre una y tres décadas, caracterizadas por mostrar anomalías térmicas o pluviométricas de una magnitud importante aunque con un menor grado de generalización espacial, agrupadas en periodos más largos de elevada variabilidad de los elementos climáticos, frente a periodos más estables y con oscilaciones de menor entidad.

En este contexto general, la evolución de las temperaturas de Haro analizada desde el siglo XV, momento a partir del que como hemos señalado existe información en todos los trimestres, presentaría las características generales que en las páginas siguientes relatamos.

El siglo XV se muestra en general frío. Los registros quedan mayoritariamente en valores inferiores al de referencia además de identificarse crisis frías especialmente destacadas. Siguiendo un orden cronológico, la primera sería la del 1419-27, nueve años en los que la media anual queda $0,9^\circ$ por debajo de la media del periodo de referencia 1850-1950 (según el test de la t de comparación entre medias, diferencia significativa $\alpha=0,01$), con descensos a nivel estacional importantes en todos los trimestres, pero más destacados en el caso del segundo y tercero, de $1,55^\circ$ y $1,26^\circ$. La segunda crisis sería la del 1444-53, con un descenso de $0,5^\circ$ (significativo $\alpha=0,01$), trimestralmente más importante de nuevo en el tercer trimestre, en el que el es de $1,3^\circ$. Por último, ha de señalarse la del 1458-84, no tanto por su intensidad, puesto que el descenso es de $0,4^\circ$ (significativo $\alpha=0,01$), sino por su especial duración, de casi tres decenios. A nivel estacional el descenso más notable recae sobre el cuarto trimestre. Esa crisis fría del tramo final del siglo XV se sitúa cronológicamente en unas fechas en las que como hemos señalado una parte de los estudios sobre la evolución del clima del último milenio señalan el inicio de las alteraciones sobre los elementos climáticos relacionadas con la PEH (Lamb, 1972 y 1988; Gribbin y Lamb, 1979; Lockwood, 1979). Ha sido además identificada en estudios realizados a partir de información dendroclimática en el Noreste de Italia (Serré-Bachet, 1994), en la región rusa de Yakutia (Luckman *et al*, 1997), a partir de muestras de hielo en el Ártico (Tarussov, 1992) y en Europa Central con información documental (Lamb, 1972).

En el tránsito con el XVI se percibe una ligera recuperación de los promedios anuales. Pero el XVI se muestra también especialmente frío, más incluso que el XV. En la primera mitad, en conjunto el periodo de medio siglo con una temperatura media anual más baja, se detecta una de las crisis frías más notables, la del 1503-30, veintiocho años en los que la media cae $0,6^\circ$ por debajo de la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$). El descenso es perceptible en todos los trimestres, aunque más importante en el caso del estival, en que es de $1,73^\circ$. Todavía en la primera mitad, ha de señalarse el descenso de $0,6^\circ$ del 1541-49. En la segunda mitad, destaca la crisis fría del 1561-74, catorce años en los que la temperatura queda $0,82^\circ$ por debajo de la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$). Las referencias a esta pulsación fría del tercio final del XVI en el entorno europeo son

abundantes. Briffa *et al* (1992), Briffa *et al* (1992) y Briffa *et al* (1999) a partir de información dendroclimática, señalan su presencia en series de temperatura reconstruidas en Fenoscandia. Kalela-Brundin (1999) en el norte de Europa, Hughes *et al* (1999) en Siberia y Serré-Bachet (1994) en el noreste de Italia, también obtienen evidencias sobre este deterioro térmico a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. Con otras fuentes de información *proxy*, como muestras de hielo (Tarussov, 1992) o documentación histórica (Glaser y Hagedorn, 1991; Guiot, 1992; Grove y Conterio, 1995; Koslovsky y Glaser, 1999; Pfister y Brazdil, 1999) también se señala su presencia en el ámbito europeo. Incluso en España, los trabajos de Font-Tullot (1988) y Barriendos (1994), ambos a partir de documentación histórica, y los de Creus *et al* (1996), Saz y Creus (2000 y 2001) con información dendroclimática, indican también la prevalencia de condiciones más frías en este periodo.

Esta centuria termina con unos años cálidos que enlazan con un siglo XVII en conjunto menos frío que los dos precedentes pero en el que también aparecen anomalías térmicas destacables en el contexto de las últimas cinco centurias. En el 1585-1602 la media anual supera en 0,3° la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,05$), lo que supone un salto térmico de 1,1° respecto de la media anual obtenida en la crisis fría del 1561-74. Los valores anuales se estabilizan después en torno al umbral de referencia hasta la crisis del 1646-52, en la que el descenso es de 0,4° (significativo $\alpha=0,05$). En la segunda mitad destaca otra crisis, la del 1672-81, con un descenso de 0,5° (significativo $\alpha=0,01$) y un intervalo cálido en el 1682-94, trece años en los que la media supera en 0,6° a la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$). Esta recuperación se corta con otra crisis en el tránsito con el XVIII, en el 1697-1704, en la que el descenso es de 0,6° (diferencia significativa $\alpha=0,01$). Estas dos crisis frías, la de la década de los años setenta y la del tránsito con el siglo XVII, ambas generalizadas a nivel trimestral aunque con descensos medios más importantes en la época fría del año, el primer y cuarto trimestres, resultan especialmente interesantes por coincidir con las fechas en las que se sitúa el conocido como Mínimo Maunder, momento en el que Jones y Briffa (2001) y Crowley (2000) señalan la mayor intensidad del enfriamiento relacionado con la PEH a escala hemisférica. Son numerosos los estudios paleoclimáticos realizados en el ámbito europeo, sea cual sea la información *proxy* utilizada, que identifican esta pulsación fría (Lamb, 1972; Manley, 1974; Brázdil, 1994; Briffa, 1994; Grove y Conterio, 1994; Pfister, 1994; Rätz, 1994; Serré-Bachet, 1994; Siegenthaler, 1994; Glaser *et al*, 1999; Hughes *et al*, 1999; Kalela-Brundin, 1999; Luterbacher *et al*, 2000; Luterbacher *et al*, 2001), que sin embargo, en nuestro observatorio no parece ser de una magnitud superior a la de las crisis frías del siglo XVI, momento en el que el enfriamiento en Haro relacionado con la Pequeña Edad del Hielo parece ser mayor.

El siglo XVIII muestra características térmicas muy similares a las del XVII, siendo también más cálido que los siglos XV y XVI, aunque con anomalías de menor magnitud. Podría destacarse en la primera mitad el intervalo 1726-35, en el que temperatura media anual supera en 0,3° la media de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,05$) y la crisis del 1742-47, en que el descenso alcanza los 0,5° (significativo $\alpha=0,01$). En la segunda mitad, los promedios anuales quedan estabilizados en torno a la media de referencia, un hecho que sin embargo esconde la presencia en el tercio final de siglo de inviernos y primaveras frías en relación al periodo de referencia, compensadas por veranos y otoños más cálidos.

El tránsito con el siglo XIX y el inicio de esta centuria son suavemente cálidos. Así, para el intervalo 1798-1815 se ha obtenido una temperatura media anual superior en 0,2° a la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,10$), aunque los registros

caen nuevamente en el intervalo 1838-45, esta vez en $0,5^{\circ}$ por debajo del umbral de referencia, (diferencia significativa $\alpha=0,01$), con descensos medios más importantes en el primero, segundo y tercer trimestres. A lo largo del tercio central del siglo XIX buena parte de los estudios paleoclimáticos del entorno europeo, sea cual sea la fuente de información *proxy* utilizada, identifican un deterioro de las temperaturas (Jacoby y D'arrigo, 1989; Pfister, 1992; Tarussov, 1992; Barriendos, 1994 y 1996-97; Briffa, 1995; Serré-Bachet, 1994; Koslowski y Glaser, 1995 y 1999; Kalela-Bundin, 1999), fechas en las que además se suele situar el final de las anomalías térmicas relacionadas con la PEH (Gribbin y Lamb, 1979; Jacoby y D'arrigo, 1989; Jones *et al*, 1998; Mann *et al*, 1998), en la que Barriendos (1994 y 1996-97) denomina como Pulsación Final. En la segunda mitad destaca otro intervalo cálido, el 1858-78, en el que la media supera en $0,25^{\circ}$ a la de referencia.

Llegamos por último al siglo XX, en el que el aspecto más destacable es el contraste entre una primera mitad en la que los registros permanecen estables en torno a la media de referencia y una segunda en la que, tras el notable intervalo cálido que se detecta en torno al año 1950, caen prácticamente hasta el final de la reconstrucción en valores inferiores a ese umbral. Se trata no obstante de anomalías bien conocidas a partir de los estudios realizados sobre información instrumental. La longitud de las reconstrucciones dendroclimáticas nos permite sin embargo señalar que el intervalo cálido de mediados de la centuria se configura como el más importante de la serie, pudiendo delimitarse al 1944-55, periodo en el que además de localizarse los máximos anuales de la serie en 1952 y 1953, la temperatura media anual queda $0,6^{\circ}$ por encima de la de referencia. El incremento es mayor sobre las medias de verano, que aumentan en casi 1° . Sin embargo tras este intervalo cálido sobreviene una crisis fría sólo comparable a las descritas en el XVI. Así, entre 1956 y 1991 la media queda $0,5^{\circ}$ por debajo de la de referencia (diferencia significativa $\alpha=0,01$), con descensos generalizados a nivel trimestral. Dentro de esta crisis puede destacarse el intervalo 1962-76, en el que el descenso es de $0,9^{\circ}$.

Vemos pues que las principales anomalías térmicas identificadas en el observatorio analizado aparecen encuadradas dentro de un patrón evolutivo de las temperaturas que parece reproducirse a una escala territorial más amplia. Las pulsaciones frías de los siglos XV y XVI (en especial la que en el tercio final de la centuria se relaciona con el inicio de la PEH), la de la década de los setenta del siglo XVII (relacionada con el Mínimo Maunder), o el deterioro térmico del tercio central del XIX (en el que se suele localizar el final de la PEH), son acontecimientos térmicos identificados a partir de distintas fuentes de información *proxy* en buena parte de los estudios paleoclimáticos realizados en el ámbito europeo, lo que en cierto modo reforzaría su significación en nuestro área de estudio.

4.- ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN PLURISECULAR DE LAS PRECIPITACIONES EN HARO Y SU RELACIÓN CON LO OBSERVADO EN EL CONTEXTO EUROPEO

Para el estudio de la evolución de las precipitaciones y como en el caso de las temperaturas, los datos reconstruidos, han sido transformados en diferencias respecto de la media del periodo 1850-1950 y representados gráficamente en la figura 5, habiéndose aplicado también a esos datos un filtro de media móvil de 15 años.

Frente a lo que veíamos en las temperaturas, las reconstrucciones de la precipitación trimestral nos permiten obtener una buena imagen de cuál ha sido la evolución de esta variable en Haro desde el tramo final del siglo XVI, con variables

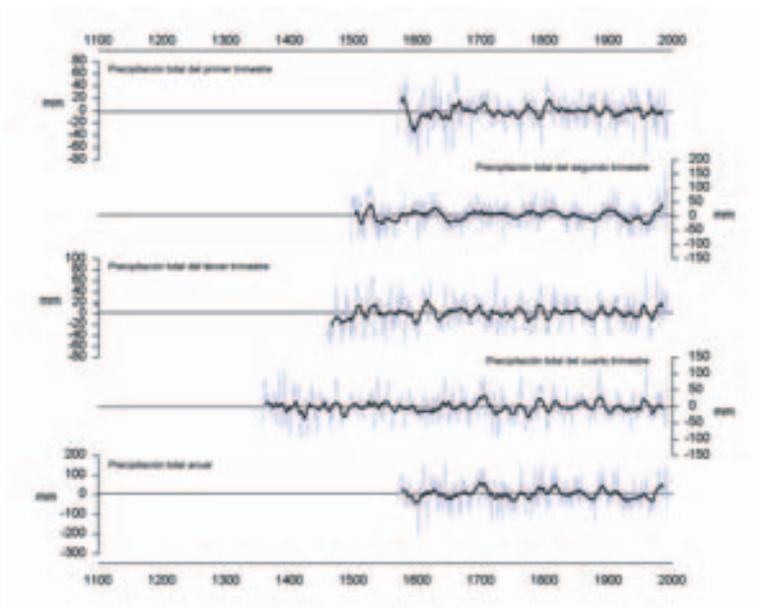


Figura 5.- Series reconstruidas de las precipitaciones trimestrales y anual en Haro en diferencias respecto de la media del periodo 1850-1950 y suavizado mediante media móvil de 15 años.

que como en el caso de las precipitaciones del cuarto trimestre informarían sobre su evolución desde el tercio final del siglo XIV.

En cuanto a la contextualización de la evolución observada en Haro en el entorno europeo, ha de hacerse una observación. Resulta por todos bien conocido el hecho de la escasa correlación espacial que ofrecen las anomalías pluviométricas sea cual sea la escala temporal y espacial analizada. Las investigaciones realizadas en nuestro país con información instrumental (Estrela *et al*, 2000; Cuadrat, 2001) muestran que situaciones particularmente secas en determinados territorios no es inhabitual que coincidan con momentos más húmedos o con precipitaciones en torno a sus valores promedio en espacios cercanos. Los factores locales adquieren mayor importancia sobre los totales de precipitación, ya sean anuales o estacionales, que en el caso de las temperaturas, en las que hemos visto que las pulsaciones frías de entre una y tres décadas características de la PEH muestran un elevado grado de correspondencia espacial a nivel europeo. Derivada de esa complejidad de factores locales, es mayor la posibilidad de que aparezcan comportamientos espaciales diferenciados en un área tan extensa y pluviométricamente compleja como la Europa Occidental aunque la causa atmosférica inicial sea la misma, por lo que la comparación con periodos comunes identificados en este ámbito es más complicada y desde un punto de vista paleoclimático incluso irrelevante, ya que las anomalías a esa escala temporal van a estar relacionadas en mayor medida con incrementos en los niveles de variabilidad de las precipitaciones que con anomalías de los valores medios.

Pero además de este problema relacionado con la propia naturaleza espacial de las precipitaciones, a la hora de comparar nuestros resultados con los de otros trabajos de carácter regional, nos aparece una segunda dificultad, derivada del menor número de estudios existentes en el entorno europeo sobre la evolución de las precipitaciones en relación a los disponibles para las temperaturas. Fuera del ámbito mediterráneo, la precipitación no constituye en Europa un factor limitante de la entidad que lo es en nuestras latitudes, lo que por un lado dificulta la disponibilidad de fuentes de información *proxy* y por otro supone que los estudios sobre las precipitaciones en un contexto temporal plurisecular tengan en general menor interés, puesto que las principales anomalías, o al menos a las que se les puede suponer mayor impacto, son de origen térmico.

Pero volviendo con los resultados de nuestro trabajo, la mayor información, al menos en todos los trimestres, la tenemos a partir del último tercio del siglo XVI, un periodo en el que destaca el intervalo lluvioso 1571-79, en el que la precipitación total media supera en un 13,2% a la del periodo de referencia 1850-1950 (significativo $\alpha=0,01$) y la posterior estabilización de los registros en torno a ese umbral de referencia.

Esa estabilización se mantiene hasta el tránsito con el siglo XVII, un momento en el que en el intervalo 1590-1605 los totales anuales de precipitación quedan un 15% por debajo del umbral de referencia (significativo $\alpha=0,01$), en una de las crisis secas más notables de la serie reconstruida. Por trimestres, el descenso más importante recae sobre el primero y tercero, que ven reducidos sus totales en un 33,3% y 36,6% respectivamente. Sólo el segundo trimestre ofrecería una media superior a la de referencia de su serie. Finalizada esta crisis, los totales anuales de precipitación de Haro se recuperan durante el primer tercio del siglo XVII, aunque caen de nuevo en valores en general inferiores al de referencia en el tercio central, destacando el intervalo 1646-55, en el que el descenso es de un 11% (significativo $\alpha=0,01$). En la década de los setenta, los registros son nuevamente más elevados, coincidiendo con el deterioro térmico que en el apartado anterior relacionábamos con el Mínimo Maunder, extendiéndose la recuperación de los totales anuales de precipitación a los primeros años del XVIII. En concreto, en el 1687-95 el incremento medio es del 11%, mientras que en el 1698-1705 es del 20% (significativos $\alpha=0,01$). A nivel trimestral, en el primero de estos intervalos, el mayor incremento medio recae en el segundo y tercer trimestres, en los que roza el 20%, mientras que en el del tránsito secular recae sobre las medias otoñales, de un 42,4%.

En el tercio central del siglo XVIII, los totales anuales de precipitación de Haro son otra vez en general bajos, destacando el descenso medio del 10,2% del 1751-59 (significativo $\alpha=0,01$). Destacaría después la más húmeda década de los sesenta, con un incremento medio del 11,7% (significativo $\alpha=0,01$) y en el tercio final la nueva crisis seca del 1768-72 y en especial el intervalo húmedo 1791-97 (significativas $\alpha=0,01$), en el que el incremento medio es del 17%, con un aumento porcentual de las medias del tercer y cuarto trimestres superior al 40%.

Durante buena parte del siglo XIX los totales anuales de precipitación de este observatorio quedan más estables en torno a la media de referencia. Destacaría únicamente la presencia en la segunda década de la centuria de registros en general elevados, con un incremento medio del 15,4% en el intervalo 1810-21 (significativo $\alpha=0,01$) y en el tramo final la crisis del 1870-82, con un descenso del 7% y el intervalo húmedo del 1883-97, en el que el incremento es del 11%.

Durante el siglo XX los totales anuales de precipitación de Haro quedan en el primer y segundo tercios en valores en general por debajo de la media de refe-

rencia de la serie, destacando el descenso del 10,3% detectado en el intervalo 1963-74 (significativo $\alpha=0,01$). Después, hasta el final de la serie reconstruida, la precipitación se recupera en este observatorio, destacando el incremento medio del 12% del intervalo 1975-90 (significativo $\alpha=0,01$).

5.- CONCLUSIONES

En lo que se refiere a la evolución de las temperaturas señalar que éstas, lejos de mantenerse desde el siglo XV estables en Haro en torno a unos valores medios, presentan por el contrario marcadas anomalías, de una duración media de entre menos de un decenio y tres o más décadas, en las que los valores promedio quedan significativamente por debajo de los del periodo de referencia.

Los siglos XV y XVI se muestran en general fríos, destacando las crisis del tercio final del siglo XV y del primer y último tercio del XVI. El siglo XVII aparece como menos frío que los dos anteriores, lo que contrasta con los resultados obtenidos en otros estudios del ámbito europeo que lo señalan como el momento de mayor intensidad de la PEH. Destacarían las crisis frías de la década de los setenta y del tránsito con el siglo XVIII, ambas relacionadas con el Mínimo Maunder. Los siglos XVIII y XIX no ofrecen anomalías de la entidad de las descritas en las centurias anteriores. El siglo XX destaca en esta escala de análisis temporal por la marcada dualidad que ofrece entre su primera mitad, sin anomalías importantes, y la segunda, en la que las detectadas son sólo comparables a las de los siglos XV y XVI. Señalar que se trata en todos los casos de anomalías que coinciden en cuanto a signo y cronología con las identificadas como más importantes durante las últimas seis centurias en el entorno europeo, encuadrándose de esta forma la evolución observada en Haro en una escala territorial superior cuya señal macroclimática se extiende al resto de la Europa Occidental y Septentrional.

En cuanto a las precipitaciones, señalar que éstas presentan también marcadas anomalías de media frecuencia, con periodos de entre menos de una década a tres o más en los que los promedios son significativamente distintos de los del periodo de referencia 1850-1950. Destacar la mayor dificultad existente a la hora de comparar los resultados obtenidos sobre esta variable con los de otros estudios, debido por un lado a la mayor variabilidad espacial de éstas y a su respuesta diferencial, incluso en espacios cercanos, frente a una misma causa atmosférica y por otro al menor número de estudios existentes en Europa al no ser la precipitación un factor limitante de la entidad que lo es en nuestro país.

En cuanto a las principales anomalías detectadas, señalar las crisis secas del tránsito entre los siglos XVI y XVII y del tercio central del XVII, la presencia de condiciones más húmedas en la cronología habitualmente asignada al Mínimo Maunder, la nueva crisis seca del tercio final del siglo XVIII, la recuperación del tránsito con el XIX, la estabilidad de la pluviometría que se detecta a lo largo del XIX, con anomalías de menor entidad que en los siglos anteriores, y finalmente los valores pluviométricos bajos en relación al periodo 1850-1950 que ofrece buena parte del siglo XX.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Barriendos, M. (1994): *Climatología histórica de Cataluña. Aproximación a sus características generales* (ss XV-XIX). Barcelona: Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona. Tesis doctoral inédita.
- Barriendos, M., (1996-97): El clima histórico de Catalunya (siglos XIV- XIX). Fuentes, métodos y primeros resultados. *Revista de Geografía*, XXX-XXXI, 69-96.
- Barriendos, M., Gómez, B. y Peña, J.C. (1997): Series meteorológicas instrumentales antiguas de Madrid y Barcelona (1780-1860). Características documentales y de observación. En *Avances en Climatología Histórica en España* (Martín Vide, J. ed). Barcelona. pp 47-62.
- Bauernfeind, W. y Woitek, U. (1999): The influence of climatic change on price fluctuations in Germany during the 16th century Price Revolution. *Climatic Change*, 43, 303-321.
- Behringer, W. (1999): Climatic change and Witch-hunting: the impact of the Little Ice Age on mentalities. *Climatic Change*, 43, 335-351.
- Bradley, R.S., Jones, P.D. (1992): *Climate Since A.D. 1500*. Routledge, London. 679 p.
- Brazdil, R., Dobrovolny, P., Choclac, B. y Munzer, J. (1994): Reconstruction of the climate of Bohemia and Moravia in the period of 1675 to 1715 on the basis of written sources. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 109-121. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Briffa, K.R. (1994): Tree-ring evidence of northern Fennoscandian summer temperatures during the Maunder Minimum period. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 23-32. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Briffa, K.R. (1995): Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. En Von Storch, H y Navarra, A (eds.) *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*. Springer. Berlin.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Karlen, W., Zetterberg, P., Eronen, M. (1992): Fennoscandian summers from A.D. 500: temperature changes on short and long timescales. *Climate Dynamics*, 7, 111-119.
- Briffa, K.R. y Schweingruber, F.H. (1992). Recent dendroclimatic evidence of northern and central European summer temperatures. En *Climate Since A.D. 1500*, Bradley, R.S. y P.D. Jones (eds.), 366-391. Routledge: New York.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Vogel, R.B., Schweingruber, F.H., Baillie, M.G.L., Shiyatov, S.G., Vaganov, E.A. (1999): European tree-rings and climate in the 16th century. *Climatic Change*, 43, 151-168.
- Cook, E.R. y Kairiukstis L.A. (eds) (1990): *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. Londres, 394 p.
- Corona, E. (1990): Inconstanza del clima: fluttuazioni progresse. En *Principi di Ecologia*. Susmel, L. (ed). Clup. Padova, 356-362.

- Creus, J., (1996): Evolución de la temperatura y precipitación anuales desde el año 1400 en el sector central de la depresión del Ebro. *Lucas Mallada*, 8, 9-27.
- Creus, J. (2000): Dendrocronología dendroclimatología, o cómo los árboles nos cuentan el clima del pasado. En *La reconstrucción del clima de época preinstrumental*. García Codrón, J.C. (ed). 81-122.
- Creus, J y Saz, M.A. (1999): Estudio de la variabilidad climática del último milenio a partir de series de temperatura y precipitación reconstruidas en el noreste español. En Raso, J.M. y Martín Vide J. (eds) *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, nº 1, 155-164.
- Crowley, T.J. (2000): Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years, *Science*, Volume 289: 270-277.
- Cuadrat, J.M. (2001): Percepción de la sequía en la Fachada Cantábrica. En Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. eds. *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Edita Caja de Ahorros del Mediterráneo y Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. Alicante. pp 277-301.
- Davis, J. (1986): *Statistics and data analysis in Geology*. Ed. Willey and Sons. Singapur. 646 p.
- Essenwanger, O.M. (1986): *Elements of Statistical Analysis*. En *World Survey of Climatology*, (H.E. Landsberg, ed.) Volume 1B., Ed.Elsevier. Londres.
- Estrela, M.J., Peñarrocha, D y Millán, M. (2000): Multiannual drought episodes in the Mediterranean (Valencia Region) from 1950-1996. A spatio-temporal analysis. *International Journal of Climatology*, 20, 1599-1618.
- Fernández, A. y Manrique, E. (1997): *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes*. INIA, Madrid, 127 p.
- Font Tullot, I. (1988): *Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid. 297 p.
- Fritts, H. (1976): *Tree rings and climate*. Academic Press, 567 p.
- Fritts, H. (1991): *Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data*. University of Arizona Press. 420 p.
- Galloway, P.R. (1994): Secular changes in the short term preventive, positive and temperature check to population growth in Europe, 1460-1909 *Climatic Change*, 26, 3-63.
- Glaser, R. y Hagedorn, H. (1991): The climate of Lower Franconia since 1500. *Theoretical and Applied Climatology*, 43. 101-104
- Glaser, R., Brázdil, R., Pfister, C., Dobrovolny, P., Barriendos, M., Bokwa, A., Camuffo, D., Kotyza, O., Limanowka, D. y Racz, L. (1999): Seasonal temperature and precipitation fluctuations in selected parts of Europe during the sixteenth century *Climatic Change*, 43, 169-200.
- Gribbin, J., Lamb, H.H. (1979): Climatic change in historical times En Gribbin, J. *Climatic Change*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Grove, J.M. y Conterio, A. (1994): Climate in the eastern and central Mediterranean, 1675-1715. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.).275-285. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Grove, J.M. y Conterio, A. (1995): The climate of Crete in the sixteenth and seventeenth centuries. *Climatic Change*, 30: 223-247.

- Guiot, J. (1990): Methods of calibration. En *Methods of dendrochronology* (Cook y Kairiukstis eds.), p 165-172, Kluwer Academic Publishers.
- Guiot, J. (1992): The combination of historical documents and biological data in the reconstruction of climate variations in space and time. *Paleoclimate Research*, 7 (2), p 93-104.
- Houghton, J.R.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A. y Maskell, K., (eds) (1996): *Climatic change 1995: the science of climate change*, Cambridge, Cambridge University Press, p 572.
- Houghton, J.R., Ding, Y., Griggs, M., Noguer, P.J. Van Der Linden, Xiaosu, D (eds) (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, p 944
- Hughes, M.K., Vaganov, E.A., Shiyatov, S., Touchan, R. y Funkhouser, G. (1999): Twentieth century summer warmth in northern Yakutia in a 600 year context. *The Holocene*, 9 (5). 629-634.
- Jacoby, G.C. y D'arrigo, R. (1989): Reconstructed Northern Hemisphere annual temperature since 1671 based on high latitude tree ring data from North America. *Climatic Change*, 14. 39-59.
- Jones, P.D., Briffa, K.R., Barnett, T.P., Tett, S.F.B. (1998): High resolution paleoclimatic records for the last millenium: interpretation, integration an comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *The Holocene* 8 (4), 455-471.
- Jones, P.D. y Briffa, K.R. (2001): The Little Ice Age: local and global perspectives. *Climatic Change*, 48 (1). 5-8.
- Kalela-Brundin, M. (1999): Climatic information from tree-rings of *Pinus sylvestris* L. and a reconstruction of summer temperatures back to AD 1500 in Femundsmarka, eastern Norway, using partial least squares regression (PLS) analysis. *The Holocene*, 9 (1), 59-77.
- Koslowski, G., Glaser, R. (1995): Reconstruction of the ice winter severity since 1701 in the western baltic. *Climatic Change*, 31, 79-98.
- Koslowski, G., Glaser, R. (1999): Variations in reconstructed ice winter severity in the western baltic from 1501 to 1995, and their implications for the North Atlantic oscillation *Climatic Change*, 41, 175-191
- Lamb, H.H. (1972): *Climate: present, past and future*. Mathuen & Co. Londres.
- Lamb, H.H. (1988): Some aspects of the Little Ice Age and other periods of cold, disturbed climate. En *Weather, Climate and Human affairs*. (H.H. Lamb, ed) Routledge. Londres.
- Landsteiner, E. (1999): The crisis of wine production in late sixteenth century central europe: climatic causes and economic consequences. *Climatic Change*, 43, 323-334.
- Lockwood J.G. (1979): *Causes of climate*. Edward Arnold. Londres. 260 p.
- Luckman, B.H., Briffa, K.R., Jones, P.D. y Schweingruber, F.H. (1997): Tree-ring based reconstruction of summer temperatures at the Columbia Icefield, Alberta, Canada, AD 1073-1983. *The Holocene* 7(4), 375-389.
- Luterbacher, J., Rickli, R., Tinguely, C., Xoplaki, E., Schüpbach, E., Dietrich, D., Hüsler, J., Ambühl, M., Pfister, C., Beeli, P. Dietrich, U., Dannecker, A., Davies,

- T.D., Jones, P.D., Slonosky, V., Ogilvie, A.E.J., Maheras, P., Kolyva-Machera, F., Martín-Vide, J., Barriendos, M., Alcoforado, M.J., Nunes, M.F., Jonsson, T., Glaser, R., Jacobeit, J., Beck, C., Philipp, A., Beyer, U., Kaas, E., Schmith, T., Bärring, L., Jönsson, P., Rácz, L. y Wanner, H. (2000): Monthly mean pressure reconstruction for the Late Maunder Minimum period (AD 1675-1715). *International Journal of Climatology*, 20, 1049-1066
- Luterbacher, J., Rickli, R., Xoplaki, E., Tinguely, C., Beck, C., Pfister, C. y Wanner, H. (2001): The late Maunder Minimum (1675-1715) – A key period for studying decadal scale climatic change in Europe. *Climatic Change*, 49, 441-462.
- Manley, G. (1974): Central England temperatures monthly means 1659 to 1973. *Quaternary Journal of the Royal Meteorological Society*, 100, 389-405.
- Mann, M.E., R.S. Bradley R.S. y Hughes, M.K.(1998): Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392,. 779-787.
- Mann, M.E., R.S. Bradley R.S. y Hughes, M.K. (1999): Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations. *Geophysical Research Letters*, vol. 26. 759-762.
- Pearson, E.S. (1963): Comparison of tests for randomness of points of a line. *Biometrika*, 34, 123-169
- Pfister, C. (1992): Monthly temperature and precipitation in central Europe 1525-1979 En Bradley R.S. y Jones, P.D. (eds.) *Climate since A.D. 1500*. London, Routledge.
- Pfister, C. (1994): Spatial patterns of climatic change in Europe A.D. 1675-1715. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 287-316. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Pfister, C. y Brazdil, R. (1999): Climatic variability in sixteenth-century in Europe and its social dimension: a synthesis *Climatic Change*, 43, 5-53.
- Rácz, L. (1994): The climate of Hungary during the late Maunder Minimum (1675-1715). En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 95-107. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Saz, M.A. y Creus, J. (1999): La variabilidad del clima español en el pasado: frecuencia de valores extremos de la temperatura y precipitación trimestrales reconstruidas desde el siglo XV. En *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. (Raso, J.M. y Martín Vide J. eds). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, nº 1, 501-510.
- Saz, M.A. y Creus, J. (2000a): Aproximación a las características de la temperatura y precipitación anual y trimestral del sector central de la Depresión del Ebro durante la Edad Moderna. En *II Jornadas de los Estudios sobre Aragón en el umbral del Siglo XXI*. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Zaragoza. Alcorisa (Teruel), 17-19 de diciembre de 1999 (en prensa).
- Saz, M.A. y Creus, J. (2000): Comportamiento cíclico de la precipitación estival en el Noreste de España. *A Geofísica e a Geodesia no século XXI*. 2ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia y Geofísica. Instituto Geofísico do Infante D. Luís (IGIDL). Lisboa. 515-516.
- Saz, M.A. y Creus, J (2001): El clima del Pirineo centro-oriental desde el siglo XV: estudio dendroclimático del observatorio de Capdella. *Boletín Glaciológico Aragonés* (2). Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.

- Serre-Bachet, F. (1994): Annual and summer mean temperature reconstructions from tree rings in western and southern Europe since A.D. 1500 with special reference to the late Munder Minimum. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 265-274. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Siegenthaler, D. (1994): Climatic trends and anomalies in England 1675 to 1715. En: *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (B. Frenzel, ed.). 133-149. European Science Foundation, Estrasburgo.
- Swan, A.R.H. y Sandilands, M. (1995): *Introduction to Geological Data Analysis*. Ed. Blackwell Science Ltd. Londres. 431 p.
- Tarussov, A. (1992): The arctic from Svalbard to Severnaya Zemlya: climatic reconstructions from ice cores. En *Climate since A.D. 1500*. (Bradley y Jones eds.) Londres, Routledge
- Watson, G.S. (1961): Goodnes of fit-test on a cricle I. *Biometrika*, 48: 109-114.
- Watson, G.S. (1962): Goodnes of fit-test on a cricle II. *Biometrika*, 49: 109-114.

