

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA RIOJA: EVOLUCIÓN RECIENTE DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN HARO EN EL CONTEXTO DE LOS ÚLTIMOS 600 AÑOS

MIGUEL A. SAZ SÁNCHEZ¹
JOSÉ CREUS NOVAU²

RESUMEN

Con objeto de analizar la situación climática actual en un contexto temporal más amplio que el que permite la información instrumental, en este trabajo se presenta la evolución de la temperatura media anual en Haro (La Rioja) entre los años 1385 y 2006. Los datos del periodo 1385-1954, anterior a la toma de registros instrumentales en el observatorio de esa localidad, han sido reconstruidos mediante el uso de técnicas basadas en la dendroclimatología a partir de muestras del crecimiento radial de árboles centenarios situados en la Cordillera Ibérica y en los Pirineos. La serie reconstruida señala la presencia de un deterioro térmico importante en distintos momentos de los siglos XV y XVI, en especial en la segunda de estas centurias, en la que se localizaría el momento de mayor intensidad de la Pequeña Edad del Hielo en el área geográfica que nos ocupa. Tras un periodo de temperaturas más estables en el tramo final del siglo XIX y primeras décadas del XX, en la segunda mitad de esa centuria se detectan dos oscilaciones de carácter cálido separadas por una crisis fría que aparecen entre las de mayor magnitud en los más de 600 años reconstruidos. Destacan especialmente los últimos años de la serie, configurándose el periodo 1997-2006 como el decenio más cálido de la reconstrucción, con una temperatura media anual que supera en 0.88 °C la del periodo 1850-1950.

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

With the aim to analyze present climate in a more extensive temporary context, in this work we present the mean annual temperature evolution in Haro (La Rioja) from AD 1385 to AD 2006. Data of the 1385-1954 period, previous to instrumental data of Haro weather station, have been reconstructed using dendroclimatic techniques applied to tree ring series of trees

1. Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza.

2. Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

with several hundreds years of age, located in the Iberian Range and Pyrenees. Reconstructed time series shows an important cooling in some phases of the 15th and 16th centuries, especially in 16th, when Little Ice Age seems to be most intense in our study area. After a period of most stable temperatures in some decades of the 19th and 20th centuries, in the second half of 20th two warm phases and one cold phase happens, being this three episodes some of the most important climatic events of the 600 year reconstructed period. We can specially emphasize the last years of the reconstructed series, the period 1997-2006, the warmest decade of this series, with a mean annual temperature 0.88 °C greater than 1850-1950 period mean.

Keywords: *La Rioja, Haro, Paleoclimatology, Dendroclimatology, Little Ice Age, Recent Warming.*

0. INTRODUCCIÓN

En la actualidad resulta escasamente controvertida la afirmación de que el calentamiento del sistema climático terrestre es ya una realidad. Las conclusiones que aporta el IV Informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) ponen de manifiesto que la temperatura media del planeta ha aumentado en 0.76 °C (\pm 0.19) desde la segunda mitad del siglo XIX hasta el quinquenio 2001-2005 (Trenberth *et al.*, 2007). Evidencias como la que supone la constatación de que 11 de los 12 años más cálidos a nivel global desde que existe información instrumental se localizan entre 1995 y 2006, el incremento en la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, la disminución de la superficie ocupada por los glaciares de montaña y por la cubierta nival, las significativas pérdidas en el volumen de hielo acumulado en Groenlandia y en el Ártico, el deshielo de extensas áreas de permafrost, el aumento en el nivel del mar, cambios en la cuantía de las precipitaciones o la mayor frecuencia de eventos térmicos y pluviométricos de carácter extremo, apoyarían la idea de la existencia de un calentamiento del clima.

En cualquier caso, no podemos considerar el clima como un elemento inmutable del paisaje. Desde hace décadas, la paleoclimatología ha constatado la ocurrencia en el pasado de cambios a distintas escalas temporales, que irían desde la milenaria a la plurisecular, secular y decenal, con consecuencias que en ocasiones han tenido carácter global. Estos cambios estarían relacionados con los forzamientos naturales sobre el clima que se derivan de la disposición de continentes y océanos, las variaciones en la composición de la atmósfera y en especial de los cambios en la radiación incidente que dependen de la posición de la tierra respecto del sol. Sin embargo, en las últimas dos centurias y sobre todo en el transcurso del siglo XX, la evolución del sistema climático terrestre, en un estado de permanente equilibrio dinámico y de suaves reajustes en función de los cambios que experimentan los distintos forzamientos, se ha visto alterada por la intervención antrópica. La masiva emisión de gases a la atmósfera como el CO₂, el CH₄, el N₂O o los CFCs, han modificado la composición de la masa gaseosa que rodea la tierra reforzando el efecto invernadero natural que mantiene la temperatura del planeta en niveles que la hacen habitable. En este sentido, trabajos

recientes demuestran que la evolución de las temperaturas a nivel global sólo puede explicarse mediante la combinación de los forzamientos naturales (variabilidad natural del clima) con los provocados por la intervención antrópica sobre la atmósfera terrestre, siendo los modelos climáticos que en sus simulaciones incluyen los dos tipos de forzamientos los únicos capaces de reproducir con precisión el devenir térmico del siglo XX (Crowley *et al*, 2003; Gerber *et al*, 2003, Bauer *et al*, 2003; Von Storch *et al*, 2004).

La dimensión de este calentamiento (Stott, 2003; Christidis *et al*, 2007), es significativa. Pero esta afirmación no podemos sino limitarla al marco temporal de poco más de 150 años que corresponde con el periodo en el que se sistematizó la toma de registros instrumentales de las variables climáticas. La posibilidad de encajar este proceso de calentamiento, derivado de la intervención del hombre sobre el sistema climático, en un espacio cronológico más amplio, nos aportaría más información no sólo sobre su significación, sino también acerca de su posible excepcionalidad. Así, se ha entendido como fundamental en los estudios sobre cambio climático antropogénico disponer de información de carácter plurisecular que aporte datos adicionales para evaluar la magnitud y trascendencia de las variaciones actuales del clima, en una atmósfera intervenida, al poder ser puestas en relación con las identificadas en centurias precedentes que se derivaban de la variabilidad natural del sistema climático.

En este sentido, las cada vez más abundantes fuentes de información sobre el clima del pasado y los avances metodológicos realizados sobre los datos *proxy*, han propiciado que en las últimas décadas se hayan elaborado diferentes series de paleotemperaturas extensibles a nivel global o hemisférico a partir de las que se pudiese comparar la evolución observada en las décadas finales del siglo XX y en los primeros años del siglo XXI, con la de las pasadas centurias.

Entre otros Briffa *et al* (1998), Jones *et al* (1998), Crowley (2000), Esper *et al* (2002), Crowley (2003), Mann and Jones, (2003), Cook *et al*, (2004), Moberg *et al* (2005), Rutherford *et al* (2005) y D'Arrigo *et al* (2006), han desarrollado, a partir de distintos modos de integración de datos *proxy* o de reconstrucciones paleoclimáticas de ámbito regional procedentes de una o varias fuentes distintas, series que nos muestran la evolución de las temperaturas a lo largo del último milenio. La densidad y reparto espacial de las reconstrucciones o de los datos *proxy* integrados en esas series es a menudo irregular y heterogénea (Guiot *et al*, 2005), por lo que en ocasiones resulta discutible asignar a una reconstrucción el calificativo de hemisférica o global. Por otro lado, las variaciones de baja frecuencia no han sido siempre convenientemente procesadas en la fase de integración de las distintas reconstrucciones o de los datos *proxy* (Esper *et al*, 2002), lo que explicaría las diferencias observadas en la evolución plurisecular de las temperaturas en algunas series representativas del hemisferio norte (Jansen *et al* 2007), en especial en los siglos más cálidos que preceden a la Pequeña Edad del Hielo (PEH) y que se han venido a denominar como Episodio Cálido Medieval (ECM) (Crowley, 2000).

A pesar de esas limitaciones y de las incertidumbres inherentes a su proceso de elaboración, las series hemisféricas o globales antes citadas muestran en todos los casos un patrón evolutivo de las temperaturas a lo largo del último milenio similar, que hablaría a favor de la existencia de una señal climática común (Moberg *et al*, 2005). Destacarían los valores térmicos muy próximos a los registrados en el siglo XX que podemos encontrar en los siglos XI, XII y XIII durante el ECM, la tendencia descendente de las temperaturas que se inicia a partir de los siglos XIV y XV y que nos lleva a la PEH, con crisis frías de varias décadas de duración especialmente intensas en el siglo XVII, una cierta recuperación de las temperaturas en el siglo XVIII aún dentro de una general tendencia negativa que arrancarían tras el ECM, un nuevo deterioro térmico, aunque más suave, en el XIX, momento en el que por otro lado suele situarse el final de la PEH, y un cambio de tendencia con el comienzo del siglo XX, especialmente acelerado desde los años 70 a la actualidad, que nos lleva a que la última década sea considerada por algunos autores como la más cálida del último milenio (Luterbacher *et al*, 2004; Xoplaky *et al*, 2005).

La compleja respuesta de las variables climáticas a escala regional frente a los distintos forzamientos sobre el clima que condicionan esas situaciones globalmente más cálidas o frías, hace que, en ocasiones, espacios concretos puedan mostrar diferencias respecto a ese patrón general. La escala de análisis territorial de ámbito regional es sin embargo la más adecuada para la gestión y la que hemos de tomar en muchas ocasiones como referencia para el análisis de los impactos del calentamiento del clima sobre los ecosistemas y las actividades antrópicas. Para conocer el comportamiento espacial de las anomalías climáticas actuales y tratar de inferir las causas atmosféricas que condicionan su evolución, se entiende necesario disponer de un conjunto lo más amplio posible de reconstrucciones del clima de carácter regional, que muestren con un elevado grado de resolución temporal la secuencia y magnitud de los jalones térmicos que han caracterizado la evolución plurisecular del clima en espacios concretos y su relación con las condiciones actuales. Esa información ha de ayudarnos a contextualizar mejor los cambios ambientales relacionados con ese proceso de calentamiento que se puedan producir en esa escala de análisis territorial, contribuyendo de esta forma a mejorar su gestión y las posibles estrategias de adaptación.

Dentro de esta línea de investigación, en este trabajo se presenta la evolución de las temperaturas medias anuales en Haro (La Rioja) desde el año 1385 hasta 2006. Para ello se ha combinado la información instrumental registrada en el observatorio meteorológico que el Instituto Nacional de Meteorología gestiona en esa localidad con los datos sobre paleotemperaturas obtenidos mediante técnicas dendroclimáticas, para lo que se han utilizado series de crecimiento radial de árboles centenarios localizados en el Sistema Ibérico y los Pirineos, agrupadas en distintas dendrocronologías. El objetivo, más allá de la obvia finalidad de conocer la evolución de las temperaturas en este sector riojano en centurias precedentes, se centraría en tratar de insertar su evolución reciente, en un contexto de posible cambio climático

antropogénico, dentro de un marco temporal plurisecular, algo que no nos permite la única utilización de registros instrumentales, y que, por otro lado, nos posibilita valorar más adecuadamente la excepcionalidad o no de las anomalías recientes en el marco de los últimos siglos.

1. DATOS Y METODOLOGÍA

1.1. Los datos instrumentales

La información climática instrumental registrada en el observatorio de Haro se ha utilizado en este trabajo para la calibración de las dendrocronologías y la reconstrucción de la temperatura media anual. Pero es también la información básica para el análisis de la evolución de esta variable a lo largo de las últimas décadas. En cualquier caso, antes de integrar esa información en el proceso de reconstrucción o analizar su evolución reciente, es imprescindible someter las series de datos a un riguroso proceso de control de calidad.

La serie instrumental de Haro cubre el periodo 1936-2006 si bien la información de los años 1936 a 1939 es muy fragmentaria (sólo 10 registros mensuales en esos cuatro años), por lo que se redujo la serie al periodo 1940-2006. Las escasas lagunas de información (únicamente 14 registros mensuales en esos 67 años de registros, el 1.7 %) fueron subsanadas mediante modelos de regresión simple con el observatorio que presentara una mayor correlación entre los que se localizaran a una distancia menor a 20 km y en los que la serie común fuera de más de 20 años. Se realizó una matriz de distancia entre los observatorios y una de correlaciones entre todas las series disponibles con esas características para seleccionar aquellas más adecuadas en el relleno. A partir de esa información y mediante regresiones simples, se procedió a la estimación del valor climático no registrado utilizando la ecuación del modelo lineal resultante de esa regresión, siempre que el valor de correlación mínimo fuese superior a 0,8.

Una vez subsanadas las lagunas de información, el siguiente paso consistió en evaluar la homogeneidad de las series de datos mensuales. Para la detección y corrección de inhomogeneidades se construyeron series regionales a partir de los datos de observatorios cercanos al de Haro. Estas series de referencia se calcularon mediante media ponderada, utilizando como factor de ponderación el cuadrado del coeficiente de correlación de las cinco estaciones mejor correlacionadas. La detección de inhomogeneidades se realizó aplicando el *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT) (Alexandersson, 1986). El SNHT detecta inhomogeneidades relativas en la serie candidata a homogeneizar respecto a la serie de referencia. El método se basa en el análisis de una serie de valores observados en la serie candidata y los valores de la serie de referencia calculada con anterioridad. Posteriormente, esta serie se normaliza para obtener una Z-serie a partir de la cual se determinarán las inhomogeneidades existentes, así como su magnitud y significación. Para cada uno de los valores de la Z-serie se plantea una hipótesis alternativa: la variable aleatoria Z es normal de varianza 1 y media m1

hasta ese momento, y varianza 1 y media m_2 a partir del dato posterior. Así se calculan los estadísticos correspondientes (T), que cuando superan un nivel crítico determinan que la serie es inhomogénea en ese punto, siendo posible su corrección a partir de la multiplicación por un coeficiente o la suma de una constante.

El SNHT se aplicó utilizando las herramientas implementadas en el programa AnClim (Štěpánek, 2003). Los resultados señalaban la presencia de inhomogeneidades significativas en torno al año 1955 en las series mensuales de mayo (1955), agosto (1954), noviembre (1953) y diciembre (1956). Otras cuatro series mensuales (enero, marzo, abril y septiembre) mostraban también problemas relacionados con la homogeneidad de la serie en torno a ese año 1955, si bien el valor del estadístico t no superaba el umbral mínimo de significación. Puesto que para la calibración de los datos instrumentales con la información dendrocronológica y abordar el proceso de reconstrucción es suficiente disponer de series de 35 años (Fritts *et al*, 1991) se estimó conveniente no modificar los datos originales a través de la homogeneización de la serie aplicando un factor corrector en el periodo 1940-1954 y utilizar únicamente para el análisis el periodo 1955-2006. El SNHT fue aplicado también sobre este periodo no detectándose en este caso inhomogeneidades significativas.

1.2. La información dendrocronológica

Una de las fuentes que mejores resultados ofrece en la reconstrucción de los climas de época preinstrumental es la dendroclimatología (Jones *et al*, 1998). Mediante el desarrollo metodológico de esta disciplina, podemos obtener información sobre la temperatura o la precipitación de las pasadas centurias en °C y mm respectivamente, información que es continua en el tiempo, de una correcta datación absoluta y de una resolución temporal que puede alcanzar la mensual.

A lo largo de la segunda mitad de la década de los años ochenta pero fundamentalmente en la de los noventa, se creó en España un amplio banco de información dendrocronológica, imprescindible para cualquier intento de reconstrucción del clima mediante técnicas basadas en la dendroclimatología. Para su elaboración, en la que contribuyeron investigadores de distintos centros de investigación y universidades españolas (Richter y Rodríguez-Trobajo, 1986; Creus *et al*, 1992; Génova *et al*, 1993; Pérez Antelo, 1994), se contó con el soporte de varios proyectos de investigación financiados por organismos nacionales e internacionales (podemos señalar entre los más importantes: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología de España CICYT: FOR 89-0866-C02-01 y CICYT: CLI96-1862; Ministerio de Agricultura de España: FO96-013; Comunidad Europea: FI2W-CT91-0075 y Contract ENVA-CT97-0641).

En la actualidad, este banco dendrocronológico está compuesto por 50 cronologías, que agrupan muestras del crecimiento radial de más de 1.500 árboles, principalmente de *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* y *Quercus* ssp. Con esa base de datos dendrocronológicos ya se han realizado

en España algunas reconstrucciones de distintas variables climáticas, cuyos resultados pueden consultarse entre otros en Creus *et al* (1995), Creus *et al* (1996), Fernández *et al* (1996), Creus y Saz (1999), Candela (2000), Manrique y Fernández (2000), Saz y Creus (2000), Saz y Creus (2001a), Saz y Creus (2001b), Saz (2003), Saz y Creus (2003), Saz *et al*, (2003), Saz *et al* (2004), Saz y Creus (2005), Saz (2005).

Para la elaboración de las cronologías utilizadas en la reconstrucción de las temperaturas de Haro (fig. 1) se siguió la metodología dendrocronológica tradicional (Fritts, 1990, 1991; Cook y Kairiukstis, 1990; Guiot, 1990). En cada una de las zonas muestreadas se seleccionaron entre 20 y 25 árboles vivos, de los que se extrajeron las muestras de su crecimiento radial (cores). En dendroclimatología el criterio de selección de los árboles no es aleatorio, con objeto de eliminar ya desde esta fase de la metodología todo el posible ruido no climático que contengan sus series de crecimiento radial. Para ello se eligen ejemplares situados en zonas con un elevado estrés climático de forma que el clima sea un factor limitante de primer orden sobre el crecimiento (cerca de sus límites latitudinales o altitudinales de distribución, sobre suelos poco desarrollados, libres de competencia, etc) y con un aspecto exterior (forma de la copa, rugosidad del tronco y diámetro) que indique una elevada longevidad. Las muestras se dejan secar en el laboratorio a temperatura ambiente durante un periodo de entre 7 y 14 días, colocándose posteriormente en soportes de madera para evitar su deterioro. Después, se cortan longitudinalmente y se pulen con lijas de grano sucesivamente

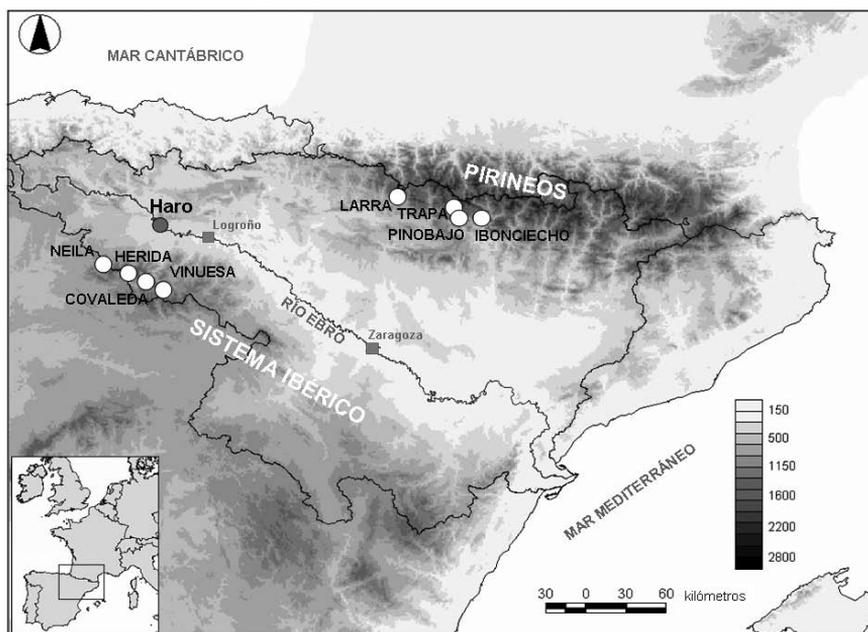


Fig. 1. Localización de las áreas muestreadas para la obtención de las cronologías utilizadas en la reconstrucción de la temperatura media anual de Haro.

más fino hasta obtener una buena visión de la secuencia de anillos de crecimiento radial.

La anchura de los anillos se midió en un sistema tipo ANIOL, con una precisión de 0,01 mm, que permite la digitalización automática de las mediciones por medio del programa CATRAS (Aniol, 1983). Para obtener una datación correcta de cada uno de los anillos, las series de mediciones son testadas con el programa COFECHA (Holmes, 1997), que mediante la comparación estadística de las mediciones efectuadas sobre cada muestra con una serie maestra, nos indica aquellos segmentos en los que hay problemas de sincronización, indicando el número de anillos que hay que insertar o eliminar de la serie para mejorar su sincronización con el resto.

Una vez sincronizadas, las series de crecimiento han de ser estandarizadas con objeto de eliminar la tendencia que cada una de ellas muestra en función de la edad del árbol. Para ello se utilizó el programa ARSTAN, que ajusta cada serie a un modelo teórico de crecimiento, generalmente una función exponencial negativa o una *spline* de distinta amplitud (entre 10 y 128), en torno al que fluctúan los valores reales de cada año. Estos valores se transforman en índices relacionando el crecimiento real con el teórico del modelo, obteniéndose series en las que se ha estabilizado la media y homogeneizado la varianza. Finalmente se utilizó la cronología estándar por aportar una señal climática más fuerte y mejorar la señal común que puede ser reconstruida a la vez que retener una mayor proporción de la variabilidad de baja frecuencia (Manrique y Fernández, 2000), aspecto especialmente importante para los intentos de reconstrucción climática de carácter plurisecular al evitar que las anomalías térmicas de larga duración queden camufladas tras el proceso de estandarización. El conjunto de muestras de una localidad, sincronizadas estandarizadas y transformadas en índices, pueden agruparse para formar una cronología local, independientemente de la edad de cada árbol. Las principales características estadísticas de las cronologías utilizadas para la reconstrucción de la temperatura media anual de Haro se señalan en la tabla 1.

TABLA 1.

CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DE LAS CRONOLOGÍAS. MTR: METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR; LONG: LONGITUD DE LA CRONOLOGÍA (AÑOS); Ncor: NÚMERO DE MUESTRAS; SM: SENSIBILIDAD MEDIA; DSt: DESVIACIÓN ESTÁNDAR; LAG1: AUTOCORRELACIÓN DE PRIMER ORDEN; S/N: TASA SEÑAL-RUIDO; CP: CONCORDANCIA POBLACIONAL

Cronología	Especie	mtr	long	Ncor	SM	DSt	Lag1	S/N	CP
Larra	<i>P. uncinata</i> R	1800	361	26	0.13	0.15	0.41	5.7	0.85
Trapa	<i>P. sylvestris</i> L	1750	348	16	0.19	0.22	0.43	5.5	0.84
Pinobajo	<i>P. uncinata</i> R	1850	450	18	0.17	0.19	0.31	3.8	0.72
Ibonciecho	<i>P. sylvestris</i> L	1900	481	24	0.14	0.14	0.28	6.8	0.87
Neila	<i>P. sylvestris</i> L	1850	506	15	0.15	0.18	0.48	4.0	0.77
Herida	<i>P. sylvestris</i> L	1780	532	32	0.14	0.16	0.39	7.6	0.88
Covaleda	<i>P. sylvestris</i> L	1760	399	28	0.15	0.16	0.48	6.6	0.87
Vinuesa	<i>P. uncinata</i> R	1900	528	20	0.14	0.16	0.45	5.0	0.82

1.3. El proceso de reconstrucción dendroclimática

El proceso de reconstrucción se realizó aplicando la metodología propuesta por Manrique (1997) y Fernández y Manrique (1997), basada en una modificación del método tradicional de reconstrucción aplicado en este tipo de estudios (Fritts, 1976; Cook y Kairiukstis, 1990). Esa propuesta metodológica se basa en la existencia de importantes relaciones entre la evolución registrada de las variables climáticas en observatorios instrumentales que pueden estar situados a distancias espaciales importantes (Villa *et al*, 1985). Esta característica, relacionada con la señal macroclimática de carácter regional, es extrapolable también a las series dendrocronológicas, como lo demuestra la elevada sincronización existente entre series de crecimiento obtenidas de árboles distantes entre sí más de 400 Km (Richter, 1988, Génova, 1988).

Esto permitiría la utilización conjunta de un mayor número de series de crecimiento radial para reconstruir el clima de un determinado lugar (Fernández *et al*, 1996; Fernández y Manrique, 1997), aunque los árboles de los que se han extraído las muestras se encuentren en zonas alejadas del observatorio instrumental con el que se calibra la información. Evitamos así la elección de muestras procedentes de árboles que, aunque localizados cerca de los observatorios instrumentales seleccionados, no sean sensibles a la variable climática que se pretende reconstruir al no constituir un factor limitante local sobre su crecimiento. Por el contrario, sí pueden seleccionarse muestras alejadas geográficamente del observatorio en cuestión, pero que en cambio muestran buena correlación con las variables climáticas, algo que no ha de suponer un problema cuando en lo que estamos interesados es en captar la señal macroclimática. De esta forma, en el proceso de reconstrucción podemos integrar muestras procedentes no sólo del ámbito más cercano al observatorio de Haro, como podrían ser las obtenidas en el sector más occidental de la Cordillera Ibérica, sino que en función de su grado de correlación con la información instrumental, pueden utilizarse, de entre las cronologías construidas en Pirineos, muestras de árboles individuales que presenten pautas de crecimiento relacionadas estadísticamente con las variables climáticas de Haro. Integrar un mayor número de muestras permite reconstruir un mayor número de variables climáticas a la vez que mejorar la fiabilidad estadística de las reconstrucciones.

Una vez seleccionadas esas muestras, podemos configurar regiones dendrocronológicas que tengan en cuenta criterios de coherencia geográfica y uniformidad climática. Las series de crecimiento de cada una de esas regiones se sincronizan mediante el uso de COFECHA y posteriormente se estandarizan utilizando ARSTAN, aplicando el filtro más adecuado a cada caso, obteniéndose finalmente una cronología estándar de la zona. Así, obtenemos un conjunto de cronologías a partir de series de crecimiento radial que provienen de distintas zonas, pero que por su elevado grado de correlación son aptas para la reconstrucción de los valores térmicos de un determinado observatorio instrumental, en nuestro caso de Haro, independientemente de la distancia entre esas muestras y el observatorio.

El método de reconstrucción climática a partir de esas nuevas cronologías es el habitual, basado en modelos de regresión múltiple y análisis de componentes principales entre las variables climáticas y las series de índices de crecimiento considerados para los años t y $t-1$. Los coeficientes del modelo se obtienen con el programa PRECONK (Fritts *et al*, 1991). La fiabilidad del resultado se analiza a través de los coeficientes de correlación del proceso de calibración-verificación aplicado a distintos intervalos mediante técnicas *bootstrap* y calculando el número de series de anillos que por azar tendrían correlación significativa con las variables climáticas. Esta nueva variable se compara con algunas distribuciones (i.e. normal, weibull, gamma) para conocer si las reconstrucciones son distintas de un simple proceso aleatorio. Por tanto, una variable climática reconstruida se considera significativa si supera los procesos de calibración, verificación y simulación.

De esta forma ha sido posible reconstruir la temperatura media del primero, segundo, tercer y cuarto trimestres en el observatorio de Haro, agrupadas posteriormente para obtener el valor de la temperatura media anual, cuya longitud queda condicionada por la de la serie trimestral más corta. La proporción de varianza explicada por el modelo generado para explicar el crecimiento expresado en las cronologías en función de la información climática instrumental (función respuesta), constituye el indicador fundamental para verificar la validez de la reconstrucción de una variable climática. Los valores obtenidos en nuestras reconstrucciones (tabla 2) difieren ligeramente según sea la variable reconstruida, aunque en todos los casos se supera ampliamente el valor mínimo de 0.32 señalado por Cook y Kariukstis (1990).

TABLA 2.
PROPORCIÓN DE VARIANZA EXPLICADA POR EL MODELO QUE SIMULA EL CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DEL CLIMA (FUNCIÓN RESPUESTA)

Variable	Varianza explicada
Primer trimestre	0.64
Segundo trimestre	0.65
Tercer trimestre	0.61
Cuarto trimestre	0.63

2. RESULTADOS DEL PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN HARO ENTRE 1385 Y 2006

En la figura 2 se ha representado la evolución, durante los 36 años de periodo común (1955-1990), de los datos instrumentales medidos en el observatorio de Haro y de los datos anuales obtenidos tras promediar las cuatro reconstrucciones de la temperatura media trimestral. Además, se ha representado el diagrama de dispersión obtenido entre las dos series de datos de temperatura media anual y la recta de ajuste, siendo el valor obtenido para la R de 0.76.

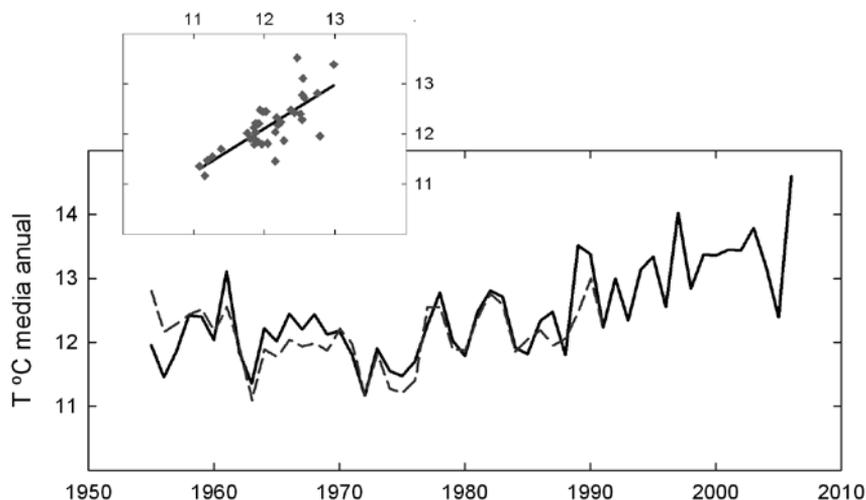


Figura 2. Evolución de la temperatura media anual reconstruida (línea discontinua gris) e instrumental (línea discontinua negra) durante el periodo común. Arriba, diagrama de dispersión y recta de ajuste entre ambas variables ($R=0.76$)

Aunque la validez estadística de las reconstrucciones viene dada por la proporción de varianza explicada por la función respuesta utilizada para la reconstrucción de los valores trimestrales, que como señala la tabla 2 en todos los casos supera ampliamente el umbral mínimo de 0.32 propuesto por la bibliografía, la elevada correlación que existe entre las dos series nos indica cómo los datos obtenidos en el proceso de reconstrucción son capaces de reproducir con precisión tanto la variabilidad de alta frecuencia como las variaciones de media frecuencia que en el periodo común se han producido en la temperatura media anual de Haro. Así, los datos obtenidos tras la modelización y el cálculo de las funciones respuesta y de transferencia reproducen los datos reales registrados en el observatorio instrumental con un elevado grado de ajuste.

Comparados los datos reconstruidos con los instrumentales, el error estándar resultante es de $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el valor de la temperatura media anual registrada en el observatorio en el periodo común es de $12,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 0.18), mientras que ese parámetro queda ligeramente por debajo en el caso de la media de los datos reconstruidos, siendo de $12.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ (± 0.15). El test t aplicado no indica sin embargo que existan diferencias significativas entre ambas medias. En cuanto a la desviación estándar, el valor calculado para los datos reconstruidos es de $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$, frente a los $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ que ofrecen los datos instrumentales. Cualquier proceso de modelización es habitual que reduzca la variabilidad de los datos reales, siendo generalmente menor en los datos resultantes del modelo y reduciéndose con ello el valor de los parámetros de dispersión. En cualquier caso, la diferencia entre ambos estadísticos tampoco ha resultado ser estadísticamente significativa.

La serie temporal que mostraría la evolución de la temperatura media anual en Haro entre 1385 y 2006 se ha representado gráficamente en la figura 3. Se trata de una serie compuesta, en la que los datos del periodo 1385-1954 corresponden con los obtenidos en la reconstrucción dendroclimática mientras que los del periodo 1955-2006 son datos instrumentales medidos en el observatorio gestionado en Haro por el INM. Para destacar las oscilaciones frías y cálidas de amplitud temporal decenal o pluridecenal, más allá de la presencia de años o grupos de años de signo contrario, en la figura aparece también un suavizado de los datos de temperaturas mediante un filtro gaussiano de paso bajo y una amplitud de 20 años.

Testada la homogeneidad de esa serie compuesta mediante el SNHT no se han detectado inhomogeneidades en torno al año 1955, momento a partir del que los datos reconstruidos son sustituidos por los instrumentales, pudiéndose considerar la serie como homogénea aún a pesar de la distinta naturaleza de la información. Cualquier otra opción de construir una serie compuesta a partir de las dos fuentes de información térmica, la instrumental y la dendroclimática, pasaba por modelizar una de las series en función de su relación estadística con la otra, utilizándose para ello como variable dependiente la correspondiente a los datos instrumentales. Sin embargo, la homogeneidad de la serie resultante de la simple unión de ambas series, unido a su elevado grado de ajuste y a la no presencia de diferencias significativas, desde un punto de vista estadístico, entre sus valores promedio y de desviación estándar, aconsejaban la opción presentada frente a una nueva modelización de los datos reales, proceso que podría enmascarar parcialmente la variabilidad de los datos instrumentales y la magnitud de los valores extremos recientes.

En la figura 3 se ha señalado con líneas discontinuas también el valor de la media en el periodo 1991-2006 y en el que utilizaremos como referencia, el 1850-1950. La elección de este periodo de referencia se justifica por ser un intervalo de tiempo que queda fuera del tradicionalmente asignado en Europa a la PEH y de las tendencias climáticas más recientes (Houghton *et al*, 2001, Trenberth *et al*, 2007). Por otro lado, cabe señalar que trabajos anteriores sobre reconstrucciones dendroclimáticas realizadas en España (Manrique y Fernández, 2000; Saz, 2003, Saz *et al*, 2003) señalan para ese periodo 1850-1950 los niveles de variabilidad interanual más bajos de las temperaturas a lo largo de las cinco últimas centurias, lo que lo convierten en especialmente aconsejable para la comparación estadística entre medias y destacar la variabilidad de otros periodos.

En la tabla 3 se señalan un conjunto de estadísticos básicos obtenidos para distintos periodos que entendemos significativos para el análisis de la evolución plurisecular de esta variable, mientras que en la tabla 4, con objeto de situar en el tiempo los eventos fríos o calidos más importantes acaecidos entre 1385 y 2006, en suma las oscilaciones de alta y media frecuencia que caracterizan la evolución de las temperaturas en Haro en un periodo que supera los seis siglos, se han calculado los periodos de 50, 25, 10 y 5 años con una temperatura media más elevada o más baja, así como la diferencia positiva o negativa entre esos periodos más extremos y las medias del periodo de referencia 1850-1950.

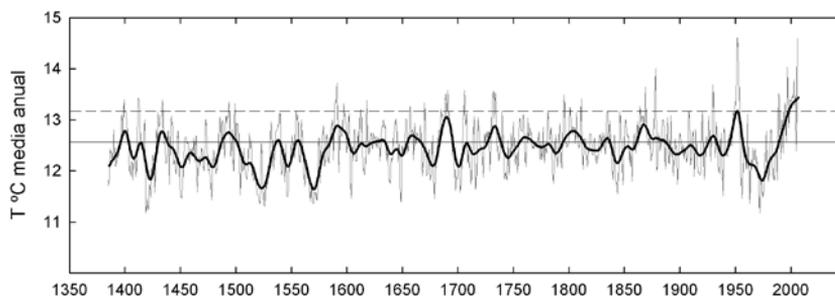


Figura 3. Evolución de la temperatura media anual en Haro en el periodo 1385-2006. La curva gris representa la información dendroclimática reconstruida entre 1385 y 1954 y los datos instrumentales entre 1955 y 2006. La curva negra corresponde a un suavizado de los datos mediante filtro gaussiano de paso bajo y longitud de 20 años. La línea gris discontinua señala el valor de la temperatura media del periodo 1991-2006. La línea gris continua señala el valor de la temperatura media del periodo 1850-1950

TABLA 3.
ESTADÍSTICOS BÁSICOS OBTENIDOS PARA DISTINTOS PERIODOS DENTRO DE LA SERIE RECONSTRUIDA

	1385-2006	1450-1850	1850-1950	1901-2000	1991-2000	1991-2006
Media	12.47	12.44	12.56	12.49	13.02	13.19
Int. Sup. de confianza de la media	12.51	12.49	12.65	12.62	13.41	13.53
Int. inf. de confianza de la media	12.43	12.38	12.48	12.37	12.63	12.85
Desviación estándar	0.53	0.49	0.44	0.61	0.55	0.64
Coefficiente de variación (%)	4.22	3.92	3.52	4.92	4.21	4.84
Primer cuartil	12.11	12.10	12.26	12.04	12.56	12.70
Tercer cuartil	12.81	12.77	12.82	12.82	13.36	13.44

TABLA 4.
PERIODOS DE 50, 25, 10 Y 5 AÑOS MÁS FRÍOS Y MÁS CÁLIDOS EN LA SERIE RECONSTRUIDA DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE HARO ENTRE 1385 Y 2006. DIFERENCIAS EXPRESADAS EN GRADOS CELSIUS Y REFERIDAS A LA MEDIA DEL PERIODO 1850-1950.

Más cálidos	Más fríos
50 años	
1905-1954 (+0.09)	1504-1553 (-0.42)
1586-1635 (+0.09)	1435-1484 (-0.30)
25 años	
1982-2006 (+0.39)	1504-1528 (-0.65)
1930-1954 (+0.24)	1956-1980 (-0.54)
1862-1886 (+0.22)	1561-1585 (-0.50)

Más cálidos	Más fríos
10 años	
1997-2006 (+0.88)	1519-1528 (-0.93)
1945-1954 (+0.70)	1564-1573 (-0.90)
1685-1694 (+0.55)	1419-1428 (-0.76)
1589-1598 (+0.42)	1971-1980 (-0.72)
1862-1871 (+0.40)	1695-1704 (-0.52)
5 años	
1950-1954 (+1.18)	1419-1423 (-1.15)
1999-2003 (+0.94)	1569-1573 (-1.11)
1688-1692 (+0.70)	1518-1522 (-1.03)
1730-1734 (+0.68)	1524-1528 (-1.01)
1865-1869 (+0.54)	1972-1976 (-1.00)

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA SERIE RECONSTRUIDA

A la vista de la evolución de la temperatura media anual de Haro que muestra la figura 3, uno de los primeros aspectos que cabría reseñar estaría relacionado con la presencia de fases frías importantes durante los siglos XV y XVI, en el contexto de lo que se ha venido a denominar como la Pequeña Edad del Hielo. Estas oscilaciones de carácter frío resultan especialmente intensas en el XVI, centuria que otros trabajos desarrollados sobre información dendroclimática reconstruida en la mitad norte de España señalan como el momento en el que se producirían los enfriamientos más importantes dentro de la PEH (Saz, 2003; Saz y Creus, 2003; Saz *et al*, 2003; Saz *et al* 2004; Saz y Creus 2005; Saz, 2005), frente al mayor descenso térmico observado en el siglo XVII en reconstrucciones de otras zonas de la Europa central y septentrional como en series de carácter hemisférico (Briffa *et al*, 1998; Jones *et al* 1998; Crowley 2000; Esper *et al* 2002 y Mann y Jones, 2003). En el caso de la serie que aquí se presenta, destaca el hecho de que los dos periodos de 50 años con una temperatura media anual reconstruida más baja se localizan en los siglos XV y XVI (tabla 4). Así, entre 1504 y 1553 la media anual obtenida es de 12.14 °C, 0.42 °C por debajo de la media del periodo de referencia 1850-1950, diferencia que aplicado el test t de comparación entre medias ha resultado ser significativa a un nivel de significación $\alpha=0.01$. Por su parte, entre 1435 y 1484, el segundo periodo de 50 años más frío de la reconstrucción, la temperatura media anual queda en 12.26 °C, 0.30 °C inferior a la del periodo de referencia (diferencia significativa $\alpha=0.01$).

Durante los siglos XV al XIX, periodo en el que teóricamente se inserta la PEH, la serie reconstruida no muestra un enfriamiento continuado en este sector de La Rioja. En cualquier caso, su ausencia no es exclusiva de nuestro área de estudio, habiendo sido señalada ya por Lamb (1977) para Europa y subrayada en posteriores trabajos por otros autores (Gribbin y Lamb, 1978; Bradley y Jones, 1993; Mann *et al*, 1998; Luckmann, 2000; Nesje y Dahl, 2003), predominando en este periodo las oscilaciones de carácter decenal o pluridecenal. Entre 1450 y 1850 la temperatura media anual reconstruida

queda en 12.44 °C, poco más de una décima de grado por debajo de la media de referencia (diferencia que aplicado el test de la t no ha resultado ser significativa) y muy próxima a los 12.49 °C del periodo 1901-2000. Sí se detectan en cambio episodios de carácter decenal o pluridecenal en los que el enfriamiento que refleja el descenso de la temperatura media anual es especialmente intenso, unas crisis frías que coinciden en su cronología con episodios del mismo signo identificados en otros ámbitos de España (Saz, 2003; Saz et al, 2003; Saz y Creus, 2003; Saz, 2005) y del resto de Europa a partir de distintas fuentes de información paleoclimática (Alcoforado *et al*, 2000; Brazdil *et al*, 1994, Briffa *et al*, 1992; Briffa, 1994; Briffa, 1995; Briffa *et al*, 1999; Glaser y Hagedorn, 1991; Glasser *et al*, 1994; Glaser *et al* 1999; Grove y Conterio, 1994, 1995; Guiot 1992; Hughes *et al*, 1999; Kalela-Brundin, 1999; Koslovsky y Glaser, 1999; Luterbacher *et al*, 2000; Pfister, 1994; Pfister y Brazdil, 1999; Ràcz, 1994; Serré-Bachet, 1994; Siegenthaler, 1994; Tarussov, 1992; Xoplaki *et al*, 2001).

Así, en la tabla 4 podemos ver cómo dos de los tres periodos de 25 años con una temperatura media anual reconstruida más baja suceden en el siglo XVI, en concreto en los intervalos 1504-1528 y 1561-1585, en los que la media queda respectivamente 0.65 °C y 0.45 °C por debajo de la de referencia (diferencias significativas $\alpha=0.01$). En periodos más cortos, de 10 y 5 años de duración, los descensos térmicos pueden rozar o incluso superar los 1 °C. Aquellos en los que el descenso es mayor en el contexto temporal analizado se han señalado en la citada tabla 4. De los cinco decenios con una temperatura media anual más baja, dos se localizan en el siglo XVI, uno en el siglo XV, otro en el XVII (coincidiendo con el Mínimo Maunder) y otro en el siglo XX, durante el conocido episodio frío de la década de los años setenta de la pasada centuria. En el caso de los quinquenios más fríos, de los cinco señalados como más extremos en estos más de 600 años, tres los encontramos en el siglo XVI, uno en el XV y el quinto en la primera mitad de la década de los años setenta del siglo XX.

Los siglos XV y XVI se muestran pues especialmente fríos en el contexto de las más de seis centurias analizadas, concentrándose los episodios de mayor enfriamiento en el segundo de ellos, momento en el que parecen localizarse las fases más intensas de la PEH en este sector riojano. En el tránsito con el siglo XVII los valores térmicos promedio anuales se recuperan, hasta el punto de que el segundo periodo de 50 años con una temperatura media anual más elevada se localiza precisamente en este momento, en concreto en el intervalo 1586-1635, cinco decenios en los que en conjunto la media supera en casi 0.1 °C a la del periodo de referencia 1850-1950 (diferencia que no ha resultado ser estadísticamente significativa).

Tras esa recuperación térmica y con la excepción de las crisis frías que marcan los últimos años del siglo XVII y los primeros del XVIII y el intervalo más cálido que queda entre ambas, las temperaturas medias anuales reconstruidas en el observatorio de Haro se mantienen en general en valores más próximos a los 12.56 °C de la media del periodo de referencia, sin detectarse oscilaciones frías o cálidas significativas. El siglo XIX es, desde sus inicios,

más fresco, si bien no encontramos periodos de 25, 10 o 5 años en los que el enfriamiento sea especialmente significativo o que al menos queden entre los más fríos de la reconstrucción. Sin embargo, en la década de los sesenta los valores se recuperan y así el periodo 1862-1886 aparece como uno de los tres periodos de 25 años más cálidos. Es en estas décadas del tercio central del siglo XIX cuando suele localizarse el final de las anomalías climáticas relacionadas con la PEH (Jones *et al.*, 1998; Mann *et al.*, 1998; Kalela-Brundin, 1999) coincidiendo con un nuevo deterioro térmico identificado en distintas zonas del continente (Jacoby y D'Arrigo, 1989; Pfister, 1992; Briffa, 1995; Kalela-Brundin, 1999), que las reconstrucciones realizadas en Norteamérica y Groenlandia (Kameda *et al.*, 1992; D'Arrigo y Jacoby, 1992) señalan como el momento de mayor intensidad de la PEH en esos ámbitos, mostrando esta disincronía una vez más la dificultad existente para atribuir a este episodio un patrón de evolución común a todo el hemisferio norte.

En lo que respecta al siglo XX, tras unos primeros años en los que la temperatura media anual se acerca a la de la media de referencia, aunque en general suele quedar por debajo de ese umbral, la centuria ofrece en torno al año 1950 un momento especialmente cálido. El periodo 1905-1954 se configura como el intervalo de 50 años con una temperatura media más elevada en los más de 600 años reconstruidos, si bien la diferencia no llega a superar la décima de grado. Periodos más cortos, de 25, 10 o 5 años, si que registran en cambio incrementos térmicos significativos. Así, en los 25 años del periodo 1930-1954 la media anual supera en un cuarto de grado a la del periodo de referencia, mientras que en el decenio 1945-1954 y en el quinquenio 1950-1954 los incrementos son de 0.70 °C y 1.18 °C respectivamente (diferencias entre medias significativas $\alpha=0.01$).

La crisis fría de los años setenta que sucede a ese momento más cálido aparece como una de las de mayor intensidad de entre las registradas en las últimas centurias. Sin embargo, tras ese descenso térmico los promedios anuales ofrecen una acusada tendencia positiva que no muestra precedentes en la reconstrucción. Así, el último decenio de la serie, el 1997-2006, se configura como el más cálido en el conjunto de los más de 600 años de la serie reconstruida, con una temperatura media anual que con 13.44 °C supera en 0.88 °C a la del periodo de referencia (diferencia significativa $\alpha=0.01$). De los 622 años de que consta la reconstrucción, sólo en 18 ocasiones (el 2.9% de los casos) la temperatura media medida o reconstruida supera el valor de la media del último decenio. De esos 18 años, 9 suceden en el siglo XX y tres en el periodo que va desde 2001 a 2006, hablando este hecho a favor de la posible excepcionalidad de este periodo en el marco temporal reconstruido. La temperatura media del periodo 1991-2006 es de 13.19 °C, sólo superada por 43 registros (el 6.9 %), 16 de ellos entre 1930 y 2006 y el resto repartidos de forma más o menos homogénea a lo largo de las pasadas centurias: 5 en los siglos XV, XVIII y XIX, 7 en el XVII y 4 en el XVI.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de la reconstrucción dendroclimática de la temperatura media anual desarrollada en Haro para el periodo 1385-2006, indicarían que

el momento climático actual se presenta como especialmente interesante en el marco temporal de al menos las seis últimas centurias. Sin dejar de lado algunas de las incertidumbres que las reconstrucciones paleoclimáticas basadas en información *proxy* tienen en relación con la pérdida de señal de baja frecuencia o el solapamiento y comparación con los datos instrumentales, lo cierto es que este tipo de reconstrucciones y en especial las realizadas mediante técnicas dendroclimáticas, en razón del tipo de información resultante, nos permiten contextualizar la evolución reciente de las temperaturas registradas en los observatorios instrumentales en un marco de análisis temporal más amplio, ayudándonos con ello a caracterizar y evaluar mejor la posible inusual magnitud de las anomalías climáticas de las últimas décadas y la excepcionalidad de los elevados valores térmicos registrados o de las tendencias recientes.

La evolución de las temperaturas en Haro en las centurias precedentes sigue un patrón similar al observado en reconstrucciones de ámbito regional realizadas en otros espacios peninsulares, caracterizándose por la presencia de oscilaciones frías importantes a lo largo de los siglos que ocupa la PEH (siglos XV al XIX). El mayor enfriamiento se localiza en el siglo XVI, al igual que muestran otras reconstrucciones dendroclimáticas realizadas en la mitad norte de España, a diferencia de lo que sucede en otras zonas de Europa, en las que los mayores enfriamientos se producen en el siglo XVII. La recuperación térmica del siglo XVIII o las nuevas crisis frías del tercio central del XIX, son también acontecimientos climáticos detectados en otros ámbitos geográficos.

Tras unas décadas de valores térmicos más estables a lo largo del tramo final del siglo XIX y en las primeras décadas del XX, en la segunda mitad de esta centuria sobrevienen dos oscilaciones cálidas y entre ellas una de carácter frío que se caracterizan por ser algunas de las de mayor magnitud de las observadas en los más de 600 años que cubre el periodo reconstruido. En especial las dos excursiones cálidas que aparecen en la segunda mitad de la centuria y en los primeros años del presente siglo, momento en el que localizamos, entre 1997 y 2006, el decenio más cálido en más de seis centurias de serie reconstruida, con un incremento térmico de 0.88 °C respecto de la media del periodo de referencia 1850-1950 y que se sitúa en valores similares a los incrementos observados a nivel global entre los valores actuales y los de mediados del siglo XIX, recientemente cuantificados en 0.76 °C (± 0.19).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos EU-contract ENV4-CT97-0641 *Sensitivity of tree growth to climate change and growth modelling from past and future* y CICYT-CLI96-1862 *Precipitaciones y temperaturas de la mitad septentrional de España a partir del siglo XVII*. Se encuentra además enmarcado dentro del Programa de Investigación Consolidados financiado por el Gobierno de Aragón: grupo S28 *Clima, agua y cambio global*. Los datos instrumentales fueron suministrados por el Centro Meteorológico Territorial de Aragón, Navarra y La Rioja – INM.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcoforado, M.J., Nunes, M.F., Garcia, J.C., Taborda J.P. (2000). Temperature and precipitation reconstruction in southern Portugal during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715). *The Holocene*, 10(3): 333-340.
- Alexandersson, A. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6: 661-675.
- Aniol, R.W. (1983). Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia* 1: 45-53.
- Bauer, E., Claussen, M., Brovkin, V., Huenerbein, A. (2003). Assessing climate forcings of the Earth system for the past millennium. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1276.
- Bradley, R.S., Jones, P.D. (1993). Little Ice Age summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene*, 3: 367-376.
- Brazdil, R., Dobrovolny, P., Chocolac, B., Munzer, J. (1994). Reconstruction of the climate of Bohemia and Moravia in the period of 1675 to 1715 on the basis of written sources. In *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*, Frenzel, B. (ed). 109-121. European Science Foundation, Strasbourg.
- Briffa, K.R. (1994). Tree-ring evidence of northern Fennoscandian summer temperatures during the Maunder Minimum period. In *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*, Frenzel, B. (ed). 23-32. European Science Foundation, Strasbourg.
- Briffa, K.R. (1995). Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. In *Analysis of climate variability: applications of statistical techniques*. In Von Storch, H., Navarra, A (eds). Springer-Verlag. Berlin.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H., Osborn, T.J. (1998). Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years, *Nature*, 393: 350-354.
- 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.
- Briffa, K.R., Schweingruber, F.H. (1992). Recent dendroclimatic evidence of northern and central European summer temperatures. In *Climate Since A.D. 1500*, Bradley, R.S., P.D. Jones (eds), 366-391. Routledge: New York.
- Candela, V. (2000). *Reconstrucción dendroclimática de las zonas Central y Meridional de España*. Tesis Doctoral. U.P.M., Madrid, 497 p.
- Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Karoly, D., Caesar J. (2007). Human contribution to the lengthening of the growing season during 1950–1999, *Journal of Climate*. En prensa.

- Cook, E.R., Esper, J., D'Arrigo, R.D. (2004). Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years. *Quaternary Science Review*, 23(20–22): 2063–2074.
- Cook, E.R., Kairiukstis L.A. (1990). *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. Londres, 394 p.
- Creus, J., Beorlegui, M., Fernández, A. (1995). *Reconstrucciones climáticas en Galicia durante las últimas centurias. Estudio Dendrocronológico*. Xunta de Galicia. La Coruña. 184 p.
- Creus, J., Fernández, A., Manrique E. (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., Génova, M., Fernández, A., and Pérez, A. (1992). New Dendrochronologies for Spanish Mediterranean Zone, *Lundqua Report* 34, Lund University. 76–78.
- Creus, J., 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., Martín Vide J. (eds) *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, 1, 155-164.
- Crowley, T.J. (2000). Causes of climate change over the past 1000 years, *Science*, 289: 270-277.
- Crowley, T.J. (2003). Modelling ocean heat content changes during the last millennium. *Geophysical Research Letters*, 30(18), 1932.
- D'Arrigo, R., Jacoby, G.C. (1992). Dendroclimatic evidence from Northern America. In *Climate Since A.D. 1500*, Bradley, R.S., P.D. Jones (eds). Routledge: New York.
- D'Arrigo, R., Wilson, R., Jacoby, G. (2006). On the long-term context for late twentieth century warming. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Esper, J., Cook, E.R., Schweingruber F.H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability, *Science*, 295, 5563.
- Fernández, A., Génova, M, Creus, J, Gutiérrez, E. (1996). Dendroclimatological investigation for the last 300-400 years in Central Spain. *Radiocarbon*, 181-190.
- Fernández, A., Manrique, E. (1997). *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes*. INIA, Madrid, 127 p.
- Fritts, H. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press. 567 p.
- Fritts, H. (1990). Modelling tree-ring and environmental relationships for dendrochronological analysis. In Dixon *et al*, eds *Forest growth process modelling of responses to environmental stress*. Timers Press. Oregon. 360-382.

- Fritts, H. (1991). *Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data*. University of Arizona Press. 420 p.
- Fritts, H. C., Vaganov, E. A., Sviderskaya, I. V., Shashkin, A. V. (1991). Climatic variation and tree-ring structure in conifers: Empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density, *Climate Research* 1: 97–116.
- Génova, M., Fernández, A., Creus, J. (1993). Diez series medias de anillos de crecimiento en los Sistemas Carpetanos e Ibérico, *Investigación Agraria INIA* 2: 136–151.
- Génova, M. (1988) Sincronización entre distintas cronologías del noreste de la Península Ibérica. *Options méditerranéennes*, 3: 337-340.
- Gerber, S., Joos, F., Brügger, P. Stocker, T., Mann, M., Sitch, S., Scholze, M. (2003). Constraining temperature variations over the last millennium by comparing simulated and observed atmospheric CO₂. *Climate Dynamics*, 20(2–3): 281–299.
- Glaser, R. 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. Racz, L. (1999). Seasonal temperature and precipitation fluctuations in selected parts of Europe during the sixteenth century *Climatic Change*, 43: 169-200.
- Glaser, R., Miltzer, S. Busche, D. (1994). A contribution to the reconstruction of climate in Germany during the late Maunder Minimum. In *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. Frenzel, B. (ed.). 173-189. European Science Foundation, Strasbourg.
- Gribbin, J, Lamb, H.H. (1978) Climatic change in historical times. In: Gribbin J (ed) *Climatic Changes*. Cambridge University Press. 68-82.
- Grove, J.M., Conterio, A. (1994). Climate in the eastern and central Mediterranean, 1675-1715. In *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* (Frenzel, B., ed). 275-285. European Science Foundation, Strasbourg.
- Grove, J.M., Conterio, A. (1995). The climate of Crete in the sixteenth and seventeenth centuries. *Climatic Change*, 30: 223-247.
- Guiot, J. (1990). Methods of calibration. In Cook E.R. Kairiukstis L.A. (eds.) *Methods of dendrochronology*, 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. *Paleo-climate Research*, 72: 93-104.
- Guiot, J., Nicault, A., Rathgeber, C., Edouard, J.L., Guibal, F., Pichard, G., Till, C. (2005). Last-millennium summer-temperature variations in western Europe based on proxy data. *The Holocene* 15, 489-500.

- Holmes, R. (1997). The Dendrochronology Program Library. *The International Tree-Ring Data Bank Program*. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson. 40-74.
- Houghton, J.R., Ding, Y., Griggs, M., Noguer, P.J. Van Der Linden, T. Xiaosu, D. (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, pp 944.
- Hughes, M.K., Vaganov, E.A., Shiyatov, S., Touchan, R., Funkhouser, G. (1999). Twentieth century summer warmth in northern Yakutia in a 600 year context. *The Holocene*, 95: 629-634.
- Jacoby, G.C., 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.
- Jansen, E., Overpeck, J., Briffa, K.R., Duplessy, J.C., Joos, F., Masson-Delmotte, V., Olago, D., Otto-Bliesner, B., Peltier, W.R., Rahmstorf, S. (2007). Palaeoclimate. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 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.
- 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. (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. (1977). *Climate present, past and future*. Volumen 2. *Climatic history and the future*. Methuen, London; Barnes and Noble. 835 pp.
- Luckmann, B.H. (2000): The little Ice Age in the Canadian Rockies. *Geomorphology* 32: 357-384.
- Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, and H. Wanner (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500, *Science*, 303: 1499-1503.
- 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., Barring, L., Jönsson, P., Rácz, L., Wanner, H. (2000). Monthly mean pressure reconstruction for the Late Maunder Minimum period (AD 1675-1715). *International Journal of Climatology*, 20: 1049-1066.
- Mann, M.E. Jones, P.D. (2003). Global surface temperatures over the past two millennia, *Geophysical Research Letters*, 30 (15) 1820.
- Manrique, E. (1997). *Nuevos métodos de reconstrucción dendroclimática. Aplicaciones al estudio climático y fitoclimático del último milenio*. Tesis Doctoral, U.P.M, pp 320.
- Manrique, E., Fernández, A. (2000). Extreme climatic events in dendroclimatic reconstructions from Spain. *Climatic Change*, 44 (1-2):123-138.
- Moberg, A., Sonechkin, D.M., Holmgren, K., Datsenko, N.M., Karlén, W. (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low and high resolution proxy data. *Nature* 433, pp 613-617.
- Nesje, A., Dahl, S.O. (2003). The Little Ice Age, only temperature? *The Holocene* 13, (1): 39-145.
- Pérez-Antelo, A. (1994). Nota de revisión de la investigación dendrocronológica en España, *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 3: 221-235.
- Pfister, C. (1992). Monthly temperature and precipitation in central Europe 1525-1979. In Bradley R.S., Jones, P.D. (eds). *Climate since AD 1500*. London, Routledge.
- Pfister, C. (1994). Spatial patterns of climatic change in Europe A.D. 1675-1715. In: Frenzel, B. (ed). *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. European Science Foundation, Strasbourg. 287-316.
- Pfister, C., 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). In Frenzel, B. (ed.) *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. 95-107. European Science Foundation, Strasbourg.
- Richter, K. (1988). *Dendrochronologische und dendroklimatologische Untersuchungen und Keifern (Pinus spp.) in Spanien*, Ph.D. Dissertation, University of Hamburg, p. 298.
- Richter, K. and Rodríguez-Trobajo, E. (1986). El banco de datos dendrocronológicos para la Península Ibérica, *Koiné*, pp. 66-77.
- Rutherford, S., Mann, M.E., Osborn, T.J., Bradley, R.S., Briffa, K.R., Hughes, M.K., Jones, P.D. (2005). Proxy-based Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: Sensitivity to method, predictor network, target season, and target domain. *Journal of Climate*, 18 (13): 2308-2329.

- Saz, M.A. (2003). *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio dendroclimático*. Consejo de Protección de la Naturaleza. Diputación General de Aragón. pp 294.
- Saz, MA (2005). La Pequeña Edad del Hielo en el Noreste Español. Reconstrucción dendroclimática de las temperaturas medias de invierno y verano. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 6: 9-36.
- Saz, M.A., Creus, J. (2000). Comportamiento cíclico de la precipitación estival en el Noreste de España. *A Geofísica e a Geodesia no século XXI*. Instituto Geofísico do Infante D. Luís (IGIDL). Lisboa. 515-516.
- Saz, M.A., Creus, J. (2001a). El clima del Pirineo Centro-Oriental desde el siglo XV: estudio dendroclimático del observatorio de Capdella. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 2: 37-80.
- Saz, M.A., Creus, J. (2001b). El clima de La Rioja desde el siglo XV. Reconstrucciones dendroclimáticas del observatorio de Haro. *Zubía*, Monográfico 13: 41-64.
- Saz, M.A. Creus, J., Cuadrat, J.M. (2003). Mean summer temperatures dendroclimatic reconstruction in Northeast of Spain. Comparison with other regional studies. *Geophysical Research Abstracts*, vol 5.
- Saz, MA., Creus, J. (2003). Thermische anomalien im nördlichen Spanien während des 16. Jahrhunderts: erste zeichen der kleinen eiszeit. In Marzolf, I., Ries, J.B., De La Riva, J. Seeger, M. (eds). *Landnutzungswandel und Landdegradation in Spanien..* 121-141.
- Saz, M.A., Creus, J., Cuadrat, J.M. (2004). La Pequeña Edad del Hielo en Galicia reconstrucción de las temperaturas de Labacolla entre los siglos XVI y XIX. *Xeográfica*, 4: 141-161.
- Saz, M.A., Creus, J. (2005). Las precipitaciones durante la época cálida en el sur de la provincia de Alicante desde 1550 a 1915. *Revista de Historia Moderna*, 23: 35-48.
- 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 Maunder Minimum. In Frenzel, B. (ed). *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. European Science Foundation, Strasbourg. 265-274.
- Siegenthaler, D. (1994). Climatic trends and anomalies in England 1675 to 1715. In Frenzel, B. (ed). *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. European Science Foundation, Strasbourg. 133-149.
- Štěpánek, P. (2003). *AnClim - software for time series analysis*. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.
- Stott, P. A. (2003). Attribution of regional-scale temperature changes to anthropogenic and natural causes, *Geophysical Research Letters*. 30(14), 1728.

- Tarussov, A. (1992). The arctic from Svalbard to Severnaya Zemlya: climatic reconstructions from ice cores. In Bradley R.S. Jones P.D. (eds) *Climate since A.D. 1500*. Londres. Routledge.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden B. and Zhai, P. (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M. and Miller H.L. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Villa, D, Guerra, J, Corres, R, (1985). *Análisis estadístico de la pluviometría de la península Ibérica*. Instituto Nacional de Meteorología, Serie A-132, pp 17.
- Von Storch, H., et al. (2004). Reconstructing past climate from noisy data. *Science*, 306 (5296): 679–682.
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., Paeth, H., Dietrich, D., Steiner, N., Grosjean, M., Wanner H. (2005). European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium, *Geophysical Research Letters*, 32.
- Xoplaki, E., Maheras, P., Luterbacher, J. (2001). Variability of climate in Meridional Balkans during the periods 1675-1715 and 1780-1830 and its impact on human life. *Climatic Change*, 48 (4): 581-615.