

EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS INVERNALES EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XVI EN UN SECTOR DEL SISTEMA CENTRAL ESPAÑOL

Teresa Bullón Mata

Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid

RESUMEN

Se realiza una reconstrucción de las condiciones de temperatura invernal que existieron en el área analizada a partir de las informaciones contenidas en diversas fuentes documentales durante la segunda mitad del siglo XVI. Los resultados muestran unas condiciones térmicas invernales diferentes a las actuales, que se mantienen en la mayor parte de los años considerados por debajo de la media de referencia. Asimismo la gran variabilidad en la distribución anual de los valores térmicos permite diferenciar varios subgrupos de años con comportamiento térmico específico.

Palabras clave: Climatología histórica, Pequeña Edad del Hielo, evolución histórica del medio natural, variabilidad climática.

ABSTRACT

This paper studies the relationship between cold events and the evolution of the environment in the central area of the Iberian Peninsula in the second half of the XVI century. A large number of historical documents were consulted in order to carry out this research. The results show winter thermal conditions different from current ones that, for the most part, stay below the reference average. Likewise, the wide range of variability in the annual distribution of the thermic values allows us to identify various subgroups consisting of those years with specific behaviour of temperatures.

Key words: Historical climatology, Little Ice Age, historical evolution of environment, climatic variability.

Fecha de recepción: marzo 2008.

Fecha de aceptación: octubre 2008.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza una reconstrucción de las condiciones de temperatura invernal que existieron en el entorno situado en el Sistema Central de la Península Ibérica, cuyo eje de simetría es la Sierra de Guadarrama, a partir de las informaciones contenidas en diversas fuentes documentales. El período cronológico al que se refieren los hechos analizados es la segunda mitad del siglo XVI, momento histórico en el que se han documentado gran cantidad de eventos relacionados con condiciones climáticas adversas, de carácter frío, que podrían ser consecuencia de una oscilación climática fría asociada a la Pequeña Edad del Hielo.

1. Objetivos y contextualización

La finalidad general de esta investigación es contribuir al conocimiento del clima antes de la época instrumental mediante la interpretación de documentos, fundamentalmente escritos, conservados en diferentes archivos. Como en otros estudios de climatología histórica, su finalidad última es conocer los modos según los cuales el sistema natural reacciona ante la alteración de uno de sus componentes más importantes y, asociado a ello, considerar si ello tuvo alguna repercusión social o económica.

Los objetivos concretos de la investigación realizada son: 1º Definir los rasgos generales de las temperaturas de los inviernos en el área analizada entre los años de 1550 y 1599. 2º Conocer la variabilidad térmica invernal del período cronológico considerado. 3º Establecer la conexión entre estas condiciones y el deterioro de los bosques que se produjo de modo coetáneo.

Para la consecución de estos objetivos se han utilizado las informaciones sobre todo tipo de noticias de significado meteorológico, climático y ambiental procedentes de archivos situados en las proximidades de la Sierra de Guadarrama: Monasterios de Párraces y de San Lorenzo del Escorial, archivos municipales de Segovia y de Torrelaguna, Casas Reales de Valsain, Fuenfría, El Escorial (Fondo Casas y Sitios Reales del Archivo General de Simancas y de los Fondos San Ildefonso y de San Lorenzo del Archivo de Palacio) (Tabla 1), (Figura 1). Todas las referencias utilizadas proceden de fuentes primarias coetáneas a los hechos. En algún caso se han utilizado textos transcritos previamente publicados.

En trabajos anteriores (Bullón 2006 a y b) ya se ha efectuado un primer análisis e interpretación de los datos históricos que se referían a acontecimientos meteorológicos. Con el presente trabajo se pretende avanzar en la investigación, tomando como punto de partida las conclusiones de las elaboraciones anteriores. La novedad de este trabajo respecto a los anteriores, además de concentrarse en el análisis de los meses invernales, consiste en valorar la intensidad del frío de cada uno de los inviernos de la serie integrando tanto los datos que indican temperaturas frías como templadas, asignar a los valores obtenidos un índice numérico y, a partir de éste, iniciar el proceso de reconstrucción y definición de las anomalías de temperatura respecto a una serie de referencia. Asimismo, en esta investigación se realiza un análisis de la variabilidad de la serie de anomalías y un estudio de los diferentes grupos de años definidos a partir de ecuaciones lineales.

Existen abundantes estudios previos con una temática similar. De especial interés son los que se refieren a algunas áreas europeas, como los de Aleixandre (1987), Pfister (1989

Figura 1
SITUACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

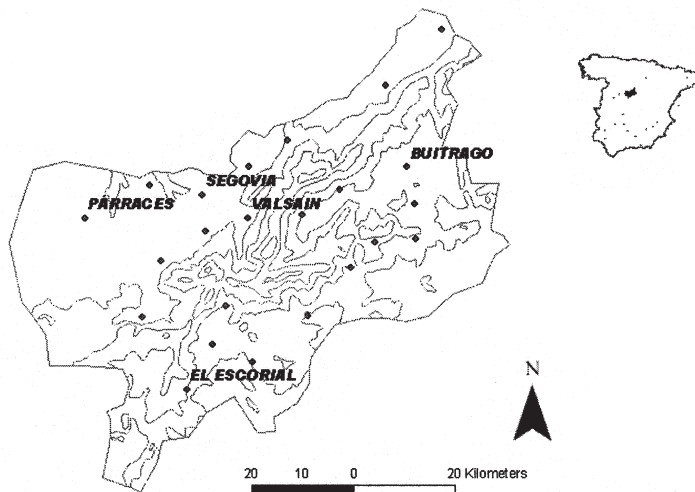


Tabla 1
ARCHIVOS Y COLECCIONES DE DATOS UTILIZADOS

Archivos	Colecciones	% de datos de nieve y hielo	% de datos sobre usos forestales
General de Simancas. Casas y Sitios Reales	Legajos: 267-I, 267-II, 259, 260, 261, 268, 280, 281, 291, 299, 302-3, 302-4.	58	7.4
General de Palacio. Fondo de San Lorenzo	Libros de actos capitulares del Monasterio de Párraces. Legajos: 1793-136, 1793-138	6.8	8.8
Municipal de Segovia.	Libros de Acuerdos 1002-1007, 1007-1008, 1009-1011	11	72.6
Municipal de Segovia.	Legajos	----	2.4
Biblioteca Nacional. Sección Manuscritos	Manuscritos: 9937, 10857, 11561, 11157, 13374	5.2	---
Regional de Madrid. Archivo Municipal de Torrelaguna	Libros de Acuerdos 14300, 14301, 14284	----	4.4
Biblioteca del Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial	Libros de actos capitulares. Siglo XVI	-----	2.1
Libros publicados	Cartas y memorias del Monasterio de San Lorenzo del Escorial	19	---

Fuente: elaboración propia.

y 1994), Bradley y Jones (1992), Bradley et al. (2003), Brázdil et al. (2005) y los realizados en algunos sectores de España, como los de Martín Vide y Barriendos (1995), Barriendos (2000), Rodrigo et al. (1995 y 2000), Saz (2003), Creus et al. (2007).

2. Tipología y tratamiento de los datos

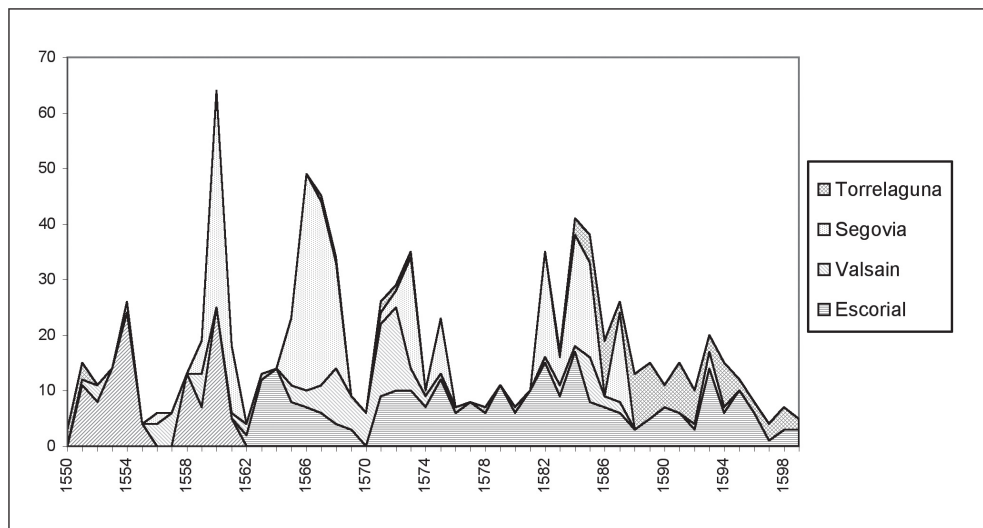
Los documentos de los que se han obtenido los datos son:

1º Documentos públicos, como actas, acuerdos, órdenes o disposiciones reales, que recogen referencias a eventos naturales cuando provocan daños en bienes o personas. 2º Escritos de carácter privado, especialmente cartas personales, en los que se comenta de modo muy espontáneo todo tipo de circunstancias, especialmente las meteorológicas. 3º Informes sobre el estado de los bosques reales y de la caza que suelen dirigirse al monarca, en los que las referencias meteorológicas y ambientales son fundamentales para argumentar los problemas que ha habido o las acciones que se han emprendido.

El conjunto de datos es muy coherente. Con frecuencia un mismo acontecimiento es descrito por más de una fuente documental. Suele ocurrir que mientras en un documento se explican los efectos de un acontecimiento, las características principales de éste aparecen descritas en otro. La ordenación y solapamiento temporal de los documentos utilizados se muestra en la figura 2.

Hay tres tipos diferentes de datos: 1. Directos, que informan explícitamente de los acontecimientos meteorológicos. 2. Mixtos, habitualmente asociados a los directos, que explican las consecuencias de los hechos meteorológicos y hacen posible evaluar su intensidad. 3

Figura 2
NÚMERO DE NOTICIAS RECOGIDAS SEGÚN EL LUGAR DE REFERENCIA Y DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS MISMAS



Indirectos, que describen las consecuencias de los fenómenos meteorológicos. Los datos directos y mixtos han sido utilizados si están referidos o fechados en período invernal (meses de diciembre (del año anterior), enero, febrero). Los datos indirectos han sido utilizados con las siguientes restricciones: 1º La asociación entre dato indirecto y el directo está explícitamente indicada en algún registro de la base de datos. 2º Hay evidencia de que el invierno en el que se produce el dato indirecto ocurre también el dato directo asociado, aunque estas informaciones no procedan necesariamente de la misma fuente. Existe información directa e indirecta de la mayor parte de los años. Los años de mayor abundancia de datos indirectos son también los que tienen mayor número de datos directos. El 30% de los datos son directos, el 49% indirectos y el 21% mixtos.

II. MÉTODOS UTILIZADOS

1. Transformación en valores cuantitativos

Para explicar las diferencias anuales de la intensidad del frío invernal se ha realizado una traducción de la información cualitativa a valores numéricos, lo que permite que los datos sean comparados entre sí. Para realizar esta transformación se han tenido en cuenta las metodologías propuestas por Pfister (1989 y 1994) y Barriendos (2000), que se han adaptado a las peculiaridades propias de los datos recogidos. Para realizar las valoraciones se han establecido puntuaciones sobre los siguientes conceptos:

1º Importancia de la fuente de procedencia, con objeto de homogeneizar la información según la fuente de origen, pues en actas o en otros documentos legales se da una información muy escueta de los acontecimientos, pero si se trata de cartas personales o informes específicos hay una explicación de los hechos mucho más expresiva. 2º Relación entre el episodio meteorológico descrito y el área geográfica en el que ha ocurrido, pues al tratarse de una zona montañosa hay importantes contrastes climáticos según la altitud y exposición. 3º Explicación de lo ocurrido, teniendo en cuenta el significado de lo que se describe y la manera con la que se expresa. 4º Daños objetivos producidos o consecuencias más importantes del acontecimiento meteorológico.

Para la realización de esta conversión se han tenido en cuenta en primer lugar las noticias que eran indicativas de temperaturas bajas o muy bajas, principalmente temporales de nieve y hielo, y se han posicionado en el invierno de ocurrencia correspondiente. Mediante la suma de los datos computados en cada año se ha obtenido un único número, de signo negativo, que expresa la importancia por año de los acontecimientos fríos durante el invierno. A continuación, se han puntuado los datos indicativos de temperaturas suaves o templadas durante el invierno, utilizando en sentido inverso las tablas de equivalencia establecidas, excepto en el caso de la valoración de la fuente de procedencia, que ha permanecido invariable. Con ello se ha conseguido para cada invierno con información un número positivo indicativo de la suavidad de las temperaturas durante el invierno. La suma de ambos conjuntos produce la calificación global del invierno, que se ha denominado termicidad invernal, con resultado de número positivo en caso de año con invierno suave y de signo negativo en caso de año con invierno frío. A mayor valor absoluto mayor intensidad del frío o de la suavidad invernal.

2. Referenciación y análisis estadístico

Con objeto de hacer comparables los valores de termicidad invernal del período 1550-1599 con los que corresponden a las características climáticas actuales, se ha realizado una transformación de los datos de esta serie en anomalías respecto a una serie de referencia. Se ha seguido el método propuesto por Brázdil et al. (2005) para la interpretación climática de series de datos basados en evidencias documentales. Este método permite la reconstrucción de series históricas cuando no es posible encontrar un período de solapamiento entre los datos documentales e instrumentales, como es este caso, pues las fuentes utilizadas o se agotan al comienzo del siglo XVII o no alcanzan el período instrumental. Lo que se recomienda para estos casos es encontrar la correlación entre la serie instrumental y la del índice ordinal que se ha obtenido para esta misma serie instrumental y realizar la función de transferencia a partir de los coeficientes de regresión entre serie instrumental e índice asignado. Este procedimiento se aplica en algunas publicaciones recientes, Pauling et al. (2006) y Rodrigo y Barriendos (2007), para series documentales sin período de solapamiento.

La serie de referencia utilizada es la de temperaturas medias mensuales de los años 1961-1990 (INM, 1996) del observatorio Puerto de Navacerrada, situado a 1887m.de altitud, 40° 47' 35» de latitud y 04° 00' 40» de longitud en una posición central dentro del área de estudio. Los pasos seguidos para la transformación han sido los siguientes: 1) Preparación de las series. Se aplica un índice ordinal, cuyo valor oscila entre +4 y -4, tanto a la serie de termicidad invernal como a la de referencia. La asignación del índice ordinal se realiza estableciendo una gradación sistemática según la distancia en desviaciones típicas respecto al valor de referencia de cada una de las series normalizadas indicadas. 2) Conversión de los índices ordinales de la serie de termicidad invernal en temperaturas. La transferencia de los índices establecidos a temperaturas se realiza según la metodología propuesta por Creus (2000) y Saz (2003). A partir de ella se establece que las temperaturas medias invernales de la serie de referencia y su correspondiente índice ordinal están relacionadas mediante un modelo de regresión lineal, según el cual las variaciones en el índice ordinal son explicadas en función de las variaciones de la temperatura. Si este modelo se hace reversible son las variaciones del índice ordinal las que explican las de la temperatura. Con este planteamiento es posible la reconstrucción de la temperatura de la serie de termicidad invernal a través de las temperaturas e índice ordinal de la serie de referencia, siendo Y la temperatura de la serie de referencia en °C and X el índice ordinal correspondiente a ella. 3) Verificación. Los resultados se verifican sobre la serie de 1952-1960 de la estación de referencia (Martínez et al., 1984). 4) Obtención de la serie de anomalías históricas. Las temperaturas invernales de la serie histórica se hallan a partir de la ecuación $X_i - X$ (X_i = temperatura anual del invierno; X = media invernal de la serie de referencia) (Jones y Hulme, 1996).

El análisis de la variabilidad y de las tendencias de posibles grupos de años con comportamiento estadístico diferente en la serie de anomalías ha sido realizado mediante el test no paramétrico de Mann-kendall (Sneyers 1975) y el paramétrico t de Student de diferencias entre medias. El establecimiento de los grupos a comparar con este último test se realiza a partir de la curva de anomalías estándar acumuladas (Helsel y Hirsch, 2002), en la que, al quedar eliminadas las variaciones a corto plazo, se marcan los cambios de mayor duración, que suelen estar señalados por variaciones importantes en su pendiente, Rodrigo et al. (2000).

La estadística paramétrica tiene una mayor robustez que la no paramétrica, Öñöt y Bayazit (2003), Rodrigo y otros (1995) cuando la probabilidad de distribución es normal, situación que se asocia a unos coeficientes de asimetría y curtosis de cada uno de los grupos comparados situados dentro del rango $-2 + 2$. Cuando los grupos diferenciados cumplan esta condición se utilizará el test paramétrico. La ecuación aplicada es:

$$t = \frac{\xi_1 - \xi_2}{\sigma \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}}$$
$$\sigma = \sqrt{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2 / (N_1 + N_2)}$$

$t =$ Student T

$\xi_1, \xi_2 =$ Media muestral

$N_1, N_2 =$ Población total muestral

$s_1, s_2^2 =$ Desviación estandar muestral

El ritmo de cambio de la temperatura invernal se ha determinado mediante modelos lineales de regresión frente al tiempo, con ajuste de mínimos cuadrados. Los modelos lineales se han aceptado si las significaciones del coeficiente de correlación y del parámetro b de la ecuación lineal eran $>95\%$. Este análisis se ha realizado siguiendo las pautas establecidas en los estudios de variabilidad climática de Galán et al. (2003) y de Rodrigo (2006).

III. RECONSTRUCCIÓN DE LAS TEMPERATURAS

La secuencia temporal de los diferentes hechos meteorológicos acaecidos queda bien definida a partir del procedimiento metodológico seguido. La serie empieza con unos inviernos fríos entre 1550 y 1552, continúa entre 1553 y 1557 con inviernos suaves. La intensidad de frío aumenta a continuación progresivamente y es especialmente intensa al comienzo de la década de los años 70. Los años finales de siglo carecen de eventos fríos de importancia.

Tras la aplicación de los índices ordinales a las series de intensidad de frío y de referencia, las correlaciones que se obtienen entre cada una estas series y sus respectivos índices ordinales superan el valor 0.9 y se muestran en la tabla 2. En general, en toda la bibliografía sobre climatología histórica basada en fuentes documentales se considera que estos índices pueden expresar bien las variaciones de temperatura, por lo que las reconstrucciones a partir de ellos dan resultados válidos (Martin Vide y Barriendos (1995), Rodrigo y Barriendos (2007).

La ecuación de transferencia para convertir los índices definidos en temperaturas se realiza mediante el procedimiento indicado en la sección II.2 (Tabla 3). Se comprueba que esta ecuación sea adecuada mediante la reconstrucción de las temperaturas en un periodo temporal diferente al utilizado de la misma serie instrumental y la comprobación de las diferencias entre las temperaturas reales y las reconstruidas. Como la correlación entre éstas es aceptable, se procede a su aplicación a la serie de termicidad invernal. (Tabla 2). El ajuste de la serie reconstruida a la media de referencia (-0.4°C) proporciona la serie de anomalías históricas, cuya curva de distribución anual se aprecia en la Figura 3. La media de la serie de anomalías está -0.6°C por debajo de la de referencia y se caracteriza por una alta variabilidad interanual. Destaca el fuerte descenso que se produce en ella entre 1564 y 1575.

Tabla 2
 VARIANZAS ENTRE LAS SERIES DE REFERENCIA O DE TERMICIDAD INVERNAL
 Y SUS RESPECTIVOS ÍNDICES ORDINALES.

Serie	R2	α
Referencia / índice ordinal	0.98	0.00
Termicidad invernal/ índice ordinal	0.93	0.00
Temperaturas reales / reconstruidas 1950-1960	0.98	0.00

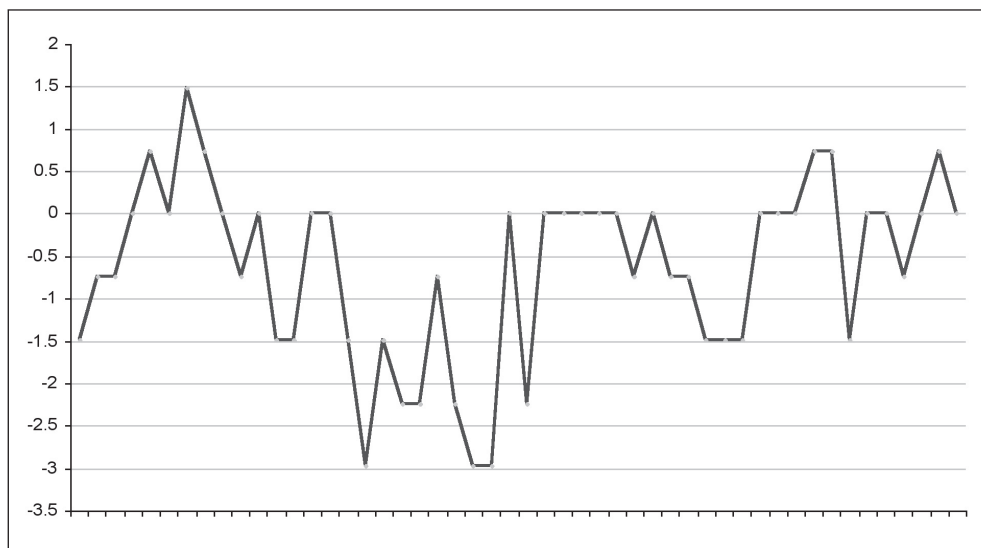
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
 ECUACIONES UTILIZADAS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE LA SERIE DE TERMICIDAD
 INVERNAL A PARTIR DE SU ÍNDICE ORDINAL

X	Y	Ecuación	R2	α
Temperatura	Índice	$0.778 + 1.536 X$	0.961	0.00
Índice	Temperatura	$-0.504 + 626 X$	0.961	0.00

Fuente: elaboración propia.

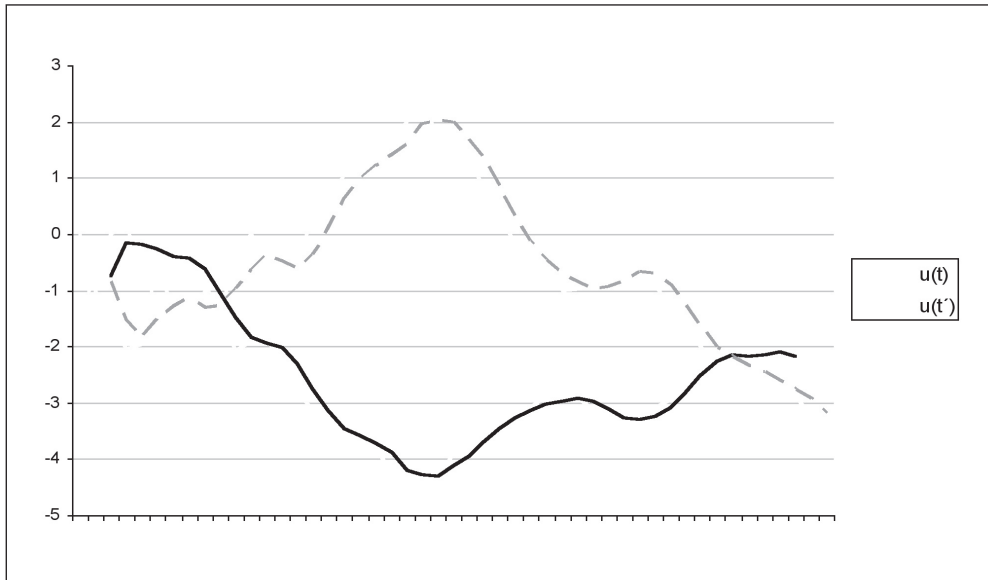
Figura 3
 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS ANOMALÍAS INVERNALES.



IV. LA VARIABILIDAD DE LA SERIE HISTÓRICA 1550-1599

En el gráfico que representa el test secuencial de Mann-Kendall, suavizado mediante el empleo de una media móvil de 3 periodos (Figura 4), se aprecia que esta serie se divide en dos partes a partir del cruce de las series normal y retrógrada que se produce en 1561. A partir de este punto las series divergen y alcanzan su máximo alejamiento en 1575. Posteriormente, vuelven a cruzarse hacia 1593. Esta organización indica que existe un grupo central, en el que se sitúa el descenso térmico principal, diferenciado claramente del anterior y del posterior, de los que se separa por un cambio brusco de las condiciones térmicas. A su vez, en el grupo central hay fluctuaciones internas.

Figura 4
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TEST SECUENCIAL DE MANN-KENDALL. SERIE 1550-1599



Contrastes similares se aprecian en la serie de anomalías estándar acumulada (Figura 5). En esta curva, puede observarse que los puntos de inflexión tienen una alta coincidencia con los límites de los subgrupos señalados en el test secuencial Mann-Kendall. Como los coeficientes de asimetría y curtosis indican que estos grupos están dentro de la normalidad (Tabla 4), se aplica el test t de Student de comparación entre medias sobre los pares de sucesivos subgrupos identificados (1550-1563, 1564-1575, 1581-1587 y 1588-1599). El resultado (Tabla 5) permite rechazar para todos ellos la hipótesis h_0 de igualdad entre medias $\alpha \geq 0.01$.

Tabla 4
ESTADÍSTICOS DE LOS GRUPOS DE AÑOS DEFINIDOS

	Media	Desv estándar	Asimetría	Curtosis
1550 - 1563	-1.58	1.2	0.06	-1.2
1564 - 1575	-13.6	6.8	0.01	-1.2
1576 - 1580	-23.6	0.0	0	-1.2
1581 - 1587	-26.4	2.1	0.7	0.9
1588 - 1599	29.8	0.5	1.1	2.7
1564 - 1587	18.2	8.6	0.6	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
TEST T STUDENT DE COMPARACIÓN ENTRE MEDIAS APLICADA A LOS GRUPOS DE AÑOS DEFINIDOS.

Grupos de años	t	(t ₉₉)
1550 - 1563 / 1564 - 1575	4.71	± 2.05
1564 - 1575 / 1576 - 1580	3.43	± 2.11
1576 - 1580 / 1581 - 1587	3.13	± 2.22
1581 - 1587 / 1588 - 1589	7.38	± 2.10
1564 - 1587 / 1588 - 1599	5.42	± 2.06

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las ecuaciones de regresión lineal de los principales grupos diferenciados tienen unos coeficientes b de regresión válidos por su significación e índice de error, por lo que se interpreta que dichos coeficientes expresan las variaciones cuantitativas de la tendencia de las temperaturas respecto a la media de referencia.

La evolución general de las temperaturas que se deduce a partir de los análisis realizados es (Tabla 6): entre 1550 y 1562, dominan los inviernos suaves, sobre todo entre 1554 y 1557, aunque no hay una tendencia definida, pues se producen oscilaciones interanuales muy importantes. Entre 1564 y 1575 ocurre la caída de las temperaturas más prolongada, continua e importante, con descenso estimado de -1.9°C , que se modera en el período siguiente, 1576-1587, -0.9°C . Entre 1588 y 1599 los valores térmicos se estabilizan y tienden a mantener los valores normales. En resumen, las temperaturas de todo el periodo comprendido entre 1564 y 1587 se sitúan por debajo del nivel de referencia durante la mayor parte de los años, con un valor global algo inferior a -0.7°C .

Los resultados obtenidos concuerdan con los de otros autores como Saz (2003) sobre reconstrucciones paleoclimáticas a partir de dendrocronología en la mitad norte de la península Ibérica, especialmente con los que se refieren a la cuenca del Duero. La mayor coincidencia se produce en la determinación de una sucesión de inviernos suaves en la década

Figura 5
 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS ANOMALÍAS ACUMULADAS ESTANDARIZADAS DE LA SERIE 1550-1599

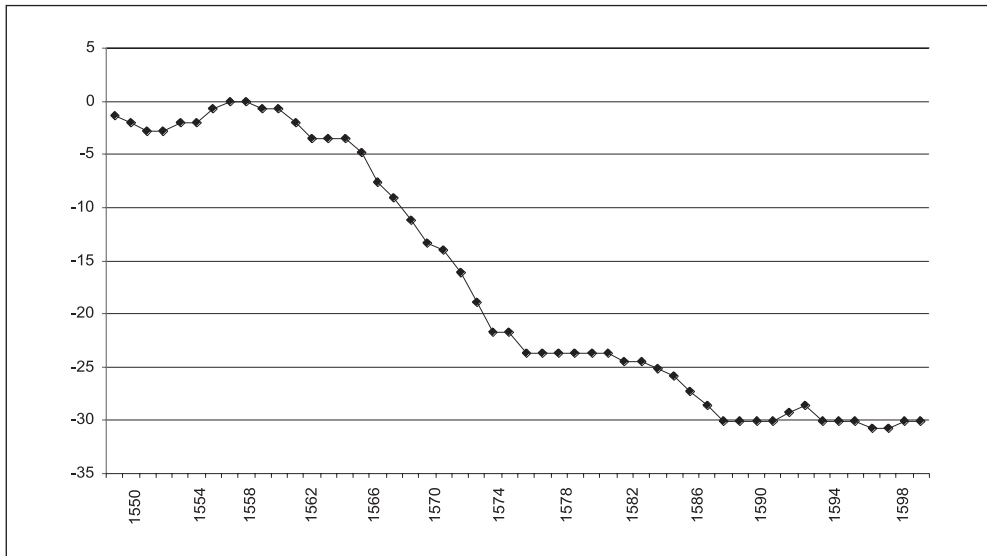


Tabla 6
 TENDENCIAS DE LOS SUBGRUPOS DE LA SERIE ANOMALÍAS ACUMULADAS.

Grupos de años	Tendencia total ° C	significación	error	Tendencia anual ° C
1564-1575	-1.9	0.00	0.05	-0.15
1581-1587	-0.9	0.00	0.01	-0.15
1564-1587	-0.7	0.00	0.08	-0.02
1550-1599	-1	0.00	0.03	-0.02

Fuente: elaboración propia.

de los años 50 del siglo XVI, seguida de otra de inviernos fríos hasta final de siglo, con comienzo del descenso térmico principal a partir de 1565 y finalización de la crisis fría al comienzo del siglo XVII. La importancia del descenso térmico en el último tercio del siglo XVI ha sido señalada asimismo por diversos autores para ámbitos regionales de mayor amplitud (Bradley y Jones, 1992), (Bradley y otros (2005), quienes sitúan en estos años el comienzo de la Pequeña Edad del Hielo. Asimismo Oliva y otros (2006) afirman que este período temporal coincide con una de las oscilaciones climáticas adversas más evidentes de las registradas durante la última miniglaciación.

V. INFLUENCIA EN LA DEGRADACIÓN FORESTAL

Aunque en publicaciones anteriores (Bullón 2006, b) se ha realizado ya un análisis de los datos correspondientes a la información forestal, es importante señalar que la intensidad de explotación de los productos forestales estaba asociada directamente a las condiciones de temperatura del invierno: a mayor intensidad de frío en esta estación, mayor cantidad de extracciones de productos forestales. De ello se deduce que la ocurrencia de un conjunto de años de especial intensidad de frío produjo el importante deterioro en las masas forestales existentes, al que hacen referencia gran número de documentos. Los datos que informan sobre esta degradación indican la existencia tanto de un exceso de cortas o talas, en muchas ocasiones furtivas, como de un empobrecimiento general de las masas arbóreas, especialmente en los pinares y en los encinares del piedemonte norte de la sierra. Los deterioros de las masas forestales se hacen más abundantes a partir de la segunda mitad de los años 80, cuando ya hay acumulados numerosos años con descenso térmico. Aunque otras causas de la degradación de las masas forestales podrían ser los períodos de sequías o la destrucción puntual de las masas forestales con ocasión de precipitaciones extremas, hasta el presente no se han podido establecer conexiones claras entre estos supuestos y la degradación forestal.

A partir de los datos recogidos se aprecian las dificultades de desarrollo de la vegetación durante la década de los ochenta y primera parte de los noventa. El descenso de la temperatura invernal que se ha comprobado debió afectar al menos a dos importantes aspectos: la altitud a la que estuvo situado el límite superior del pinar en el sector montañoso, que en la actualidad está localizado entre los 1900 y 2000m, pero que numerosas referencias encontradas en los documentos consultados indican que estaba más baja en los años indicados, y la capacidad de supervivencia de los bosques esclerófilos de *Quercus ilex* situados en el piedemonte del sector septentrional del área de estudio. En la actualidad se considera que estos bosques se encuentran en el límite natural de su hábitat biogeográfico (Blanco y otros 1997), por lo que se puede suponer, según los datos aportados, que la degradación que soportaron estuvo condicionada por el descenso térmico.

VI. CONCLUSIONES

La comparación de los datos de termicidad invernal con los de una serie actual de referencia (1961-1990) ha permitido definir un enfriamiento térmico que tuvo lugar entre 1550 y 1599 y determinar la variabilidad interna de este período temporal. Aunque en ambas series existen acontecimientos de alta intensidad de frío, lo que diferencia a la serie de anomalías de la de referencia es la concentración de fenómenos indicativos de alta intensidad de frío en un reducido número de años consecutivos. Según los datos disponibles entre 1564 y 1575 las temperaturas descendieron -1.9°C respecto a la media de la serie de referencia.

Los grupos de años en los que se subdivide la serie de anomalías han sido definidos mediante el test secuencial $u(t)$ y $u'(t)$ de Mann- Kendall y también mediante el test t de Student de comparación entre medias. Las diferencias entre ellos son mínimas. A partir del último de estos test se confirma la existencia de cuatro etapas de significado climático diferente: 1550-1563, 1564-1575, 1576-1587 y 1588-1599. El descenso térmico que se produjo

entre 1563 y 1587 estuvo precedido de unos años de inviernos relativamente suaves (1550-1559), y seguido de unos años de contención del descenso térmico (1588-1599), durante los que se alcanzan los valores de la media de referencia.

Se considera que el descenso de las temperaturas invernales que se ha definido fue la causa principal de la degradación de los bosques que se aprecia en los documentos consultados, aunque habría que valorar la posible influencia de períodos de sequía. La excepcionalidad de las condiciones climáticas justifica la tensión que se aprecia en la población por el acopio de madera y leña. El descenso térmico pudo haber repercutido en la organización y estructura de las comunidades vegetales.

En definitiva, se demuestra en este trabajo que existió una crisis climática de carácter frío que tuvo una fase principal con un brusco descenso térmico entre 1564 y 1575 y se prolongó con intensidad progresivamente decreciente hasta el final del siglo XVI. Esta crisis, según diversas publicaciones consultadas corresponde a una de las fases de la Pequeña Edad del Hielo Aunque esta oscilación fría no ha sido totalmente definida cronológicamente en España, los datos que se presentan en este trabajo pueden ayudar a perfilarla, tanto desde el punto de vista temporal como en las características del descenso térmico que produjo y en la distribución espacial de sus efectos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDRE, P. (1987): *Le climat en Europe au Moyen Âge. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 a 1425 d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*. Paris l'Ecole d'Hautes Études en Sciences Sociales.
- BLANCO, E., CASADO, M., COSTA, M., ESCRIBANO, R., GARCÍA, M., GENOVA, M., GÓMEZ, A., MORENO, C., MORLA, C., REGATO, P., SAINZ, H. (1997): *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Barcelona. Planeta.
- BRADLEY, R., JONES P. (1992): *Climate since AD 1500*. London. Routledge.
- BRADLEY, R., BRIFFA, K., COLE, J., HUGES, M., OSBON, T. (2003): «The climate of the last millenium» en Anderson R. et aler (eds.), *Paleoclimate, Global Change and the Future (Anderson, R. et al. ed.)*. Berlin. Springer.
- BRÁZDIL, R., PFISTER, C., WANNER, H., STORCH, H., LUTERBACHER, J. (2005): «Historical Climatology in Europe-The State of the Art». *Climatic Change*, nº 70, 363-430.
- BARRIENDOS, M. (2000): «La climatología histórica en España. Primeros resultados y perspectivas de la investigación» en *La reconstrucción del clima en época preinstrumental* (García Codrón, J., ed.). Santander. Universidad de Cantabria, 15-56.
- BULLÓN MATA, T. (2006, a): «Frío y nieve durante la segunda mitad del siglo XVI en la Sierra de Guadarrama». *Clima, Sociedad y Medio Ambiente* (Cuadrats, J. et al. eds.). Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología. Serie A, nº 5, Zaragoza, 521-528.
- BULLÓN MATA, T. (2006, b): «Degradación de la naturaleza y crisis de nieve y hielo en la segunda mitad del siglo XVI». *Eria*, nº 70, 129-148.
- CREUS, J. (2000): «Dendrocronología y dendroclimatología, o cómo los árboles nos cuentan el clima pasado» en *La reconstrucción del clima en época preinstrumental* (García Codrón, J. ed.). Santander. Universidad de Cantabria. 81-119.

- CREUS, J., PEÑA, J., BARRIENDOS, M., MORENO, A., GONZÁLEZ, P., SANCHO, C., VALERO, B., PÉREZ, A., SAZ, M., CONSTANTE, A. (2007): «Paleoclimatological studies in Spain» en *Climatología española. Pasado, presente y futuro* (Cuadrats, J. y Martin Vide, J. eds.). Zaragoza. Prensas Universitarias, 263-281.
- GALÁN, E., CAÑADA, R., FERNÁNDEZ, F., CERVERA, B. (2003): «Annual Temperature Evolution in the Southern Plateau of Spain from the Construction of Regional Climatic Time Series» en *Detecting and Modelling Regional Climate Change* (Brunet M. y López D. eds.). Berlin. Springer, 119-131.
- HELSEL, D., HIRSCH, R. (2002): *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey. Capítulo 12: «Trend analysis». 324-329.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (1996): *Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1990)*. Observatorio de Madrid Puerto de Navacerrada. Madrid. Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medio Ambiente.
- JONES, P., HULME, M. (1996): «Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations». *International Journal of Climatology*, n° 16, 361-377.
- MARTIN-VIDE, J., BARRIENDOS, M. (1995): «The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)». *Climatic Change* n° 30, (2), 201-221.
- MARTINEZ, I., MARTÍNEZ, T., ALARCÓN, S. (1984): *Climatología de Puerto de Navacerrada*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- OLIVA, M., LÓPEZ-BUSTINS, J., BARRIENDOS, M., MUEDRA, C., MARTIN-VIDE, J. (2006): Reconstrucción histórica de la oscilación del mediterráneo occidental (WeMO) e inundaciones en el levante peninsular (1500-2000). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente* (Cuadrats, J. et alt, eds.). Zaragoza. Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología. Serie A, n° 5, 241-250.
- ÖNOT, B. y BAYACIT, M. (2003): «The power of statistical test for trend detection». *Turkish Journal of Engeneering Environmental Science*, n° 27, 247-251.
- PAULING, A., LUTERBACHER, J., CASTY, C. (2006): «Five hundreds years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, n° 26, 387-405.
- PFISTER, C. (1989): «Fluctuaciones climáticas y cambio histórico: El clima en Europa Central desde el siglo XVI y su significado para el desarrollo de la población y la agricultura». *Geocrítica* n° 82, 5-43.
- PFISTER, C. (1994): «Climate in Europe during the late Maunder Minumum period (1675-1715)». *Mountain environments in changing climates* (Beniston y Martin eds.). London. Routledge.
- RODRIGO, F., ESTEBAN-PARRA, M.J., CASTRO-DÍEZ, Y. (1995): «The onset of the Little Ice Age in Andalusia (southern Spain): detection and characterization from documentary sources». *Annales Geophysicae* n° 13, 330-338.
- RODRIGO, F., ESTEBAN PARRA, M.J., POZO VÁZQUEZ, D., CASTRO-DÍEZ, Y. (2000): «Rainfall variability in southern Spain on decadal to centennial time scales». *International Journal of Climatology* n° 20, 721-732.

- RODRIGO, F. (2006): «Trends in winter daily temperatures in Spain 1951-2002». *Proceedings 5^a Asamblea Hispano-Portuguesa de Gedesia y Geofísica*. Madrid. Ministerio de Medio Ambiente.
- RODRIGO, F. y BARRIENDOS, M. (2007): «Reconstruction of seasonal and annual rainfall variability in the Iberian peninsula (16th-20th centuries) from documentary data». *Global Planetary Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.004.
- SAZ, M. (2003): *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio dendroclimático*. Zaragoza. Publicaciones del Consejo de protección de la Naturaleza de Aragón.
- SNEYERS, R. (1975): *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Organization Météorologique Mondiale. Note technique 143.

