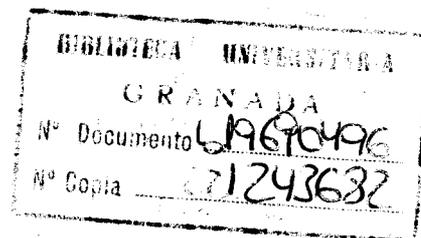


Rec. 7/20-177

T.
17
28

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA

CAMBIO CLIMATICO NATURAL
LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN ANDALUCIA
RECONSTRUCCION DEL CLIMA HISTORICO A PARTIR DE FUENTES
DOCUMENTALES.



FERNANDO SANCHEZ RODRIGO
GRANADA, 1994

CAMBIO CLIMATICO NATURAL.
LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN ANDALUCIA.
RECONSTRUCCION DEL CLIMA HISTORICO A PARTIR DE FUENTES
DOCUMENTALES

UNIVERSIDAD DE GRANADA
Facultad de Ciencias
Fecha ... 18-3-94
ENTRADA NUM. ... 429

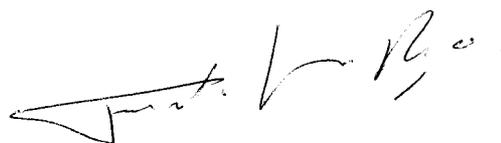
Visado en Granada, a 2 de Marzo
de 1994.

LA DIRECTORA DE LA MEMORIA



Fdo.: Yolanda Castro Díez,
Prof. Titular del Dpto. de
Física Teórica y del Cosmos
de la Universidad de Granada.

Memoria presentada para
optar al grado de DOCTOR
EN CIENCIAS FISICAS.



Fdo.: Fernando Sánchez Rodrigo.
Licenciado en Ciencias Físicas.



TUTOR: Dr. D. Antonio Molina Cuevas
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Granada.

AGRADECIMIENTOS

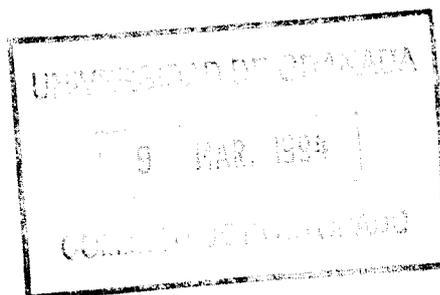
Son muchas las personas que, de una forma u otra, han hecho posible la realización de este trabajo. En primer lugar, debo referirme a mis compañeros y compañeras del Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Granada, con quienes he compartido momentos difíciles, que espero se tornen fructíferos en un futuro muy próximo, y, especialmente, a mi directora la Doctora D^a Yolanda Castro Díez y a mi compañera D^a María Jesús Esteban Parra, por el buen ambiente de trabajo desarrollado en la línea de investigación sobre el cambio climático.

Es también obligado mencionar al conjunto de compañeros y compañeras del Departamento de Física Aplicada, a su director, el Dr. D. Gerardo Pardo Sánchez, a su Secretario y Tutor mío, el Dr. D. Antonio Molina Cuevas, por su constante apoyo y comprensión, y al Dr. D. Juan Ignacio Jiménez Jiménez, que me ofreció la oportunidad de trabajar en este campo.

La obtención de los datos que constituyen la base de esta Memoria no habría sido posible sin la amable colaboración del personal de las siguientes bibliotecas: Biblioteca de la Universidad de Sevilla, Biblioteca de la Universidad de Granada (Hospital Real), Biblioteca y Hemeroteca de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Granada, Biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, Biblioteca de Andalucía, Real Archivo de la Chancillería de la Ciudad de Granada y Biblioteca del Instituto Experimental de Zonas Áridas (CSIC) de Almería.

Los datos sobre precipitaciones en Andalucía durante el periodo instrumental fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología.

Finalmente, debo referirme a mis familiares y amigos, por aguantarme con paciencia durante algo más de cuatro años.



A mi familia

A Isa

- Señor, ¿conoces la floresta? ¿Qué aventuras podemos encontrar en ella?

- Lo ignoro - dijo Marhalt - Si lo supiera no sería una aventura.

Pero ciertos caballeros me dijeron que alberga maravillas.

Hechos del Rey Arturo y sus Nobles Caballeros

John Steinbeck.

INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCION	1
1.1. El Problema del Cambio Climático.	3
1.2. Objetivos.	8
1.3. Plan de Trabajo.	10
CAPITULO II. ANALISIS DE LAS FUENTES DE DATOS	13
2.1. Introducción.	15
2.2. Fuentes de Datos.	21
2.3. Fiabilidad de las Noticias.	31
2.4. Carácter de las Noticias Encontradas.	36
CAPITULO III. DATOS INDIRECTOS	39
3.1. Introducción.	41
3.2. Comercio de la Nieve.	46
3.3. Plagas de Langosta.	52
3.4. Producción Agrícola.	59
3.4.1. Introducción.	59
3.4.2. Datos Cualitativos.	61
3.4.3. Modelo de las relaciones entre clima y agricultura.	71
3.4.4. Efectos de Primer Orden.	79
3.4.5. Efectos de Segundo Orden.	89
3.5. Resumen y Perspectivas.	93

CAPITULO IV. DATOS DIRECTOS	99
4.1. Introducción.	101
4.2. Precisión Espacial de las Noticias.	104
4.3. Precisión Temporal de las Noticias.	115
4.4. Codificación de las Noticias.	126
4.5. Temperaturas.	135
4.6. Precipitaciones.	142
4.6.1. Indices de Precipitación Anual.	142
4.6.2. Análisis Estadístico. Metodología.	151
4.6.3. Resultados. Región M.	159
4.6.4. Resultados. Región SW.	170
4.6.5. Resultados. Andalucía.	180
4.6.6. Correlación Espacial.	190
4.6.7. Reconstrucción.	193
4.6.8. Verificación.	201
4.6.9. Distribución Estacional de las Anomalías Pluviométricas.	206
4.7. Discusión.	221
CAPITULO V. FENOMENOS EXTREMOS Y CAMBIO CLIMATICO	227
5.1. Introducción.	229
5.2. Anomalías y Tipos de Tiempo.	232
5.2.1. Introducción.	232
5.2.2. Anomalías Térmicas.	234
5.2.3. Anomalías Pluviométricas.	242

5.2.3.1. Sequías.	242
5.2.3.2. Lluvias excesivas.	252
5.2.4. Vientos.	269
5.3. Tipos de Tiempo y Circulación General.	274
5.4. Causas de Variabilidad Climática en la Epoca de Estudio.	288
5.4.1. Introducción.	288
5.4.2. Variabilidad Solar.	290
5.4.3. Actividad Volcánica.	294
5.4.4. Mecanismos Estocásticos Internos.	301
CONCLUSIONES	309
APENDICES	317
Apéndice I. Fuentes de Datos.	319
Apéndice II. Ejemplos de Registros Codificados.	343
Apéndice III. Indices de Precipitación.	349
Apéndice IV. Análisis del Espectro de Potencia.	361
Apéndice V. Un Ejemplo de Estudio Paleoclimático. La Tormenta Del 19 de Octubre de 1562.	365
BIBLIOGRAFIA	373

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1. El problema del cambio climático.

La superficie de nuestro planeta se mantiene habitable como consecuencia de la presencia en la atmósfera de gases radiativamente activos como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono. Estos gases absorben y emiten radiación térmica elevando la temperatura superficial media global desde 255 K (-18°C) hasta 288 K (15°C). La absorción ocurre a causa de la excitación de los estados moleculares vibracional y rotacional. La mayor parte de la radiación emitida en forma de onda larga al espacio proviene de los gases atmosféricos más que de la propia superficie, por tanto el nivel o altura media a la que corresponde la temperatura radiante efectiva T_e se alcanza por encima de la superficie. Ya que las temperaturas troposféricas generalmente decrecen con la altura, la adición de gases radiativamente activos a la atmósfera eleva el nivel medio desde el cual escapa radiación térmica al espacio, reduciendo por tanto la temperatura y el ritmo de emisión. Las temperaturas troposférica y superficial crecen hasta que la salida de radiación térmica equilibra de nuevo la radiación solar incidente. Esto se conoce como efecto invernadero.

Se ha observado que las concentraciones atmosféricas de muchos gases de efecto invernadero han crecido sensiblemente durante las últimas décadas. Se cree que este aumento se debe al crecimiento de la actividad industrial y agrícola desde la Revolución Industrial. Se ha estimado el calentamiento adicional debido a la presencia de gases invernadero en 2 W/m² y se estima que en los próximos 50 años podría ser de 4 W/m². Las estimaciones de la sensibilidad de la temperatura superficial al calentamiento radiativo oscilan entre 0.5 y más de 1 KW⁻¹m² (Mitchell, 1989). Esta incertidumbre surge, entre otros factores, de la dificultad de la implementación de las nubes en los modelos climáticos.

Aunque los fundamentos físicos del efecto invernadero son bien conocidos, no puede probarse que el calentamiento detectado se deba a la presencia de los gases invernadero, o a la variabilidad natural del clima. Kuo et al. (1990) analizan la relación entre concentraciones atmosféricas de CO₂ y temperatura global media desde 1958 hasta 1988, y establecen una relación lineal entre ambas variables. Sin embargo, se muestran cautos a la hora de interpretar este resultado estadístico como indicativo de cambios climáticos producidos por el aumento de las concentraciones de gases invernadero, alegando que las

variaciones climáticas con frecuencia son de mayor escala temporal que las series utilizadas por ellos.

Los cambios o tendencias son considerablemente menores que la variabilidad natural del clima y los errores en las medidas pueden ser tan grandes o mayores que los cambios observados en el registro climático (Karl et al., 1989). De hecho, la magnitud del calentamiento es coherente con las predicciones de los modelos teóricos, pero también equivale a la variabilidad climática natural.

Por otra parte, la temperatura media global superficial es un parámetro que puede no recoger los impactos del clima que se detectan a escalas regionales o locales. De hecho, sucesos extremos tales como las sequías parecen ser bastante sensibles a los cambios en la temperatura y la precipitación asociados con pequeñas diferencias en la temperatura superficial media (Risbey et al., 1991).

Los posibles efectos climáticos del efecto invernadero han sido estudiados usando modelos de circulación general. Estos modelos presentan varios problemas. En primer lugar, la resolución espacial de estos modelos es demasiado general para proporcionar información a escala local o regional. En segundo lugar, las parametrizaciones hidrológicas (y, en concreto del papel climático de los océanos) son muy simplistas (Gleck, 1989), y poco puede afirmarse sobre cambios en la precipitación (Mitchell, 1989).

El problema entonces se centra en intentar determinar la magnitud de la variabilidad inherente al sistema climático, para así poder estimar de la manera más exacta posible la evolución temporal del calentamiento debido a los gases invernadero (Mitchell, 1989). Con este objetivo, entre las recomendaciones del International Panel for Climatic Change (IPCC, 1992) figura el estudio de registros paleoclimáticos e históricos para documentar la variabilidad natural del sistema climático. Al intentar estudiar el cambio climático del futuro, resulta esencial observar el registro de variación climática en el pasado. Este registro, además de indicar el orden de magnitud de la variabilidad climática natural, permite la comprobación de los diferentes modelos climáticos y sirve para la búsqueda de indicios acerca de los cambios climáticos originados por las actividades humanas. En definitiva, los estudios

paleoclimáticos permiten mejorar nuestra comprensión del comportamiento del sistema climático (Berger et al., 1989).

La mayoría de la literatura paleoclimática trata de variaciones climáticas del orden de 10^3 años, en el estudio de variaciones a escala glacial e interglacial. Sin embargo, las variaciones climáticas recientes representan una escala temporal y espacial diferente, y pueden considerarse como parte de una variabilidad que fue común en siglos anteriores. Es precisamente esta información, a escala temporal de décadas o siglos, la que puede ser necesaria para anticipar y planificar las consecuencias de la futura variabilidad climática (Fritts et al., 1979; Ingram et al., 1981).

Con el fin de comprender cómo puede variar el clima del futuro debemos entender cómo y por qué ha variado en el pasado. En este sentido, los últimos 500 años son un periodo importante por varias razones (Bradley y Jones, 1992a):

- Podemos elaborar una imagen clara y completa de las variaciones climáticas durante este periodo. Además, permite el desarrollo y la contrastación de hipótesis acerca del comportamiento del sistema climático.

- La variabilidad climática a escala temporal de décadas o siglos es la de mayor relevancia respecto al clima del futuro y al grado en el que la variabilidad natural amplificará o atenuará los efectos antropogénicos.

Se ha establecido un periodo histórico de varios siglos de duración que finalizó en el siglo XIX y tuvo alcance mundial, conocido como "Pequeña Edad de Hielo". Ocasionó amplios avances glaciares en la mayor parte de las regiones alpinas del mundo, y se caracterizó por unas condiciones generales de enfriamiento (Folland et al., 1992). No existe acuerdo sobre la explicación que se debe dar a este episodio climático de enfriamiento, ni sobre su ubicación precisa en el tiempo, ni sobre su impacto en diversas regiones de la Tierra (Jones y Bradley, 1992a). De ahí el interés que presenta su estudio, y, en concreto, precisar las condiciones que se dieron cuando se supone su aparición, a mediados del siglo XVI (Lamb, 1977). La ampliación de la cobertura espacial de las informaciones sobre el clima

de la época es un requisito imprescindible para el desarrollo de los estudios sobre este periodo (Jones y Bradley, 1992a).

La Pequeña Edad de Hielo presenta un interés añadido, en relación con las concentraciones de gases invernadero. En efecto, diversos análisis de la composición química de burbujas de aire atrapadas en núcleos de hielo en Groenlandia indican niveles constantes e inferiores a los contemporáneos en la concentración de dióxido de carbono entre 1530 y 1810 (Wahlen et al., 1991). Lo mismo ocurre con otros gases invernadero como N_2O y CH_4 , detectados en núcleos de hielo antártico (Pearman et al., 1986). En consecuencia, el estudio de la Pequeña Edad de Hielo permite analizar la variabilidad del clima sin tener en cuenta posibles variaciones en las concentraciones de los gases invernadero, permitiendo así la posibilidad de distinguir entre las causas naturales y antropogénicas de cambio climático.

El problema del estudio de los climas del pasado es la ausencia de observaciones meteorológicas instrumentales, que proporcionen los datos necesarios para afrontar los estudios climáticos. Es necesario entonces recurrir a documentos históricos y datos "proxy", es decir, informaciones que proporcionen una medida indirecta del clima, ya sean de origen natural o humano. El propósito último es la producción de un registro que proporcione estimaciones cuantitativas de temperatura y precipitación, necesarias para el trabajo científico (Pfister, 1992a). El procedimiento comienza con la elaboración de una base de datos, donde se incorporan los más pequeños elementos de información disponibles sobre observaciones meteorológicas o información "proxy". La "historia meteorológica" se codifica, homogeneiza y calibra según el tipo de datos y se almacena en un banco de datos. Posteriormente los datos se convierten en índices numéricos, y, mediante adecuadas "funciones de transferencia", se traducen en estimaciones cuantitativas de la temperatura y la precipitación, elaborando así una "historia del clima".

El desarrollo de la climatología histórica en España ha sido desigual y no siempre acompañado del suficiente rigor. Vinculado a las crónicas e historias locales, el problema de las variaciones climáticas y del impacto de los fenómenos meteorológicos se ha afrontado normalmente desde la perspectiva de la geografía y la historia económica. En este sentido destacan los trabajos del siglo XIX de Manuel Rico y Sinobas sobre las sequías en el Sudeste

español y el impacto climático en las cosechas de vid en Valladolid (Anés Alvarez, 1967). Ya en el siglo XX encontramos intentos de relacionar la actividad solar con la alternancia de épocas lluviosas y secas (Puig, 1951) y estudios sobre las primeras medidas instrumentales, que datan de finales del siglo XVIII (Pertierra, 1954). Los estudios paleoclimáticos centrados en el periodo histórico son dispersos y escasos, y en la mayoría de los casos falta un análisis cuantitativo. Son de destacar los trabajos de Alvarez Vázquez (1986) sobre sequías e inundaciones en la Cuenca del Duero, o de Giralt Raventós (1958) sobre el número de rogativas por sequía en Cataluña. Entre los intentos de coordinar los trabajos en el campo de la climatología histórica podemos mencionar las VII Jornadas de la Asociación Meteorológica de España dedicadas al tema "La Meteorología en la Historia" (Font Tullot, 1988) y la celebración del Simposium "Quaternary Climate in Western Mediterranean" en la Universidad Autónoma de Madrid (López Vera, 1986). El esfuerzo individual más ambicioso es el llevado a cabo por Fontana Tarrats, quien realizó estudios, en su mayoría inéditos, sobre todas las regiones españolas. Font Tullot (1988) utiliza los datos de Fontana Tarrats e introduce una inicial sistematización, distinguiendo entre noticias térmicas y pluviométricas, y entre distintas regiones y cuencas hidrográficas. En los últimos años se han llevado a cabo algunos estudios puntuales, como la descripción desde el punto de vista meteorológico de la primera travesía colombina (García Díez et al., 1992). En general, los estudios de climatología histórica llevados a cabo en España pueden caracterizarse por su dispersión y escasa sistematización. Son en su mayoría análisis cualitativos, y los estudios sobre Andalucía son más bien escasos.

1.2. Objetivos.

Esta Memoria pretende ocupar un hueco existente en la literatura especializada respecto a la climatología histórica en Andalucía. Los estudios climáticos relativos a Andalucía presentan un gran interés por su posición geográfica y latitudinal, en torno a los 37°N, sometida a las influencias del Océano Atlántico, el Mar Mediterráneo, el continente europeo y el norte de Africa, y caracterizada por un relieve de marcados contrastes (Castillo-Requena, 1989). Dada su posición en el extremo suroccidental de Europa, el análisis de la evolución del clima histórico andaluz permitirá en el futuro ampliar la cobertura espacial de los trabajos en este campo, centrados hoy día principalmente en Europa Occidental y Central, y ampliar la información sobre la variabilidad espacial de los fenómenos climáticos.

Nos interesa no sólo el estudio y la caracterización de la variabilidad natural del clima andaluz, sino también incorporar y desarrollar en lo posible los aspectos metodológicos implicados, así como apuntar las perspectivas y futuros desarrollos necesarios en este campo. Podemos agrupar los principales objetivos en dos grandes grupos:

a) Objetivos metodológicos.

- Elaborar un banco de datos sobre fenómenos meteorológicos durante la época histórica en Andalucía.

- Desarrollar los aspectos relacionados con el tratamiento de datos históricos como interpretación, codificación y cuantificación, incorporando las técnicas y métodos desarrollados por varios autores en otros países.

- Aplicar las técnicas de análisis estadístico de series temporales, como mejor método para el estudio de la evolución de los climas regionales.

b) Objetivos climatológicos.

- Caracterizar el comportamiento y la evolución del clima en Andalucía durante la Pequeña Edad de Hielo.

- Discutir los principales mecanismos de variabilidad climática en relación con el clima andaluz.

- Aportar la información necesaria para un posterior desarrollo de la investigación en el campo del cambio climático en el caso concreto de Andalucía.

1.3. Plan de trabajo.

Con el objeto de cubrir los objetivos propuestos, se ha centrado el trabajo en el análisis del clima durante los siglos XVI y XVII, cuando se produce la irrupción y definitiva instalación de la Pequeña Edad de Hielo en la Península Ibérica (Font Tullot, 1988).

El estudio y caracterización de las fuentes de datos usadas se realiza en el Capítulo II, donde se discuten los diferentes géneros historiográficos y el potencial informativo que ofrecen. Criterios de crítica histórica, como contemporaneidad de los autores con los sucesos, cercanía geográfica, transmisión fiel de unas fuentes a otras, y comparación entre diversas fuentes, aseguran la fiabilidad de los datos recogidos. Una breve descripción de cada una de las fuentes se recoge en el Apéndice I.

El análisis de las fuentes utilizadas permite distinguir entre datos indirectos y directos. La calibración e interpretación de estos dos tipos de informaciones (informaciones sobre aspectos indirectamente relacionados con el clima, como la producción agrícola, por ejemplo, y descripciones cualitativas de sucesos meteorológicos) se afronta en los capítulos III y IV, respectivamente. En el Capítulo IV se introducen las técnicas de codificación y cuantificación de los datos directos, y se desarrolla el análisis estadístico de las series temporales elaboradas. El Capítulo IV culmina con la reconstrucción cuantitativa de las precipitaciones en Andalucía durante la época de estudio. Los resultados procedentes de los distintos tipos de datos se comparan entre sí y con análisis de índices de anchura de anillos de árboles, a efectos de contrastación y validación.

El Apéndice II muestra varios ejemplos del tratamiento de las informaciones, su codificación y estandarización en el banco de datos; el Apéndice III muestra los resultados del proceso de indización y el Apéndice IV describe brevemente la técnica de análisis espectral, herramienta matemática indispensable en el estudio de series temporales.

El Capítulo V se centra en el análisis de algunos de los fenómenos meteorológicos de los que disponemos de información más detallada. Partiendo de la hipótesis de que las más

relevantes manifestaciones del cambio climático se producen en la frecuencia y sucesión de los fenómenos meteorológicos extremos, se analizan las principales anomalías detectadas y se relacionan con las series temporales elaboradas. El Apéndice V muestra un ejemplo del tratamiento e interés paleoclimático de un suceso extremo. El estudio se aborda utilizando la hipótesis de que los tipos de tiempo responsables de estos sucesos eran análogos a los del presente. Mediante analogías con extremos actuales, bien conocidos y caracterizados, se infieren los tipos de tiempo responsables de las principales anomalías en la época de estudio. Los resultados de la Meteorología Dinámica se utilizan posteriormente para caracterizar las características de la circulación atmosférica en esta época. Posteriormente, se discuten algunas de las causas y mecanismos citados en la bibliografía especializada como principales responsables de los cambios climáticos, y se relacionan con los resultados obtenidos para Andalucía a partir del análisis de las series temporales. Finalmente, se recogen las principales conclusiones obtenidas y se esbozan perspectivas de trabajo para el futuro.



CAPITULO II
ANALISIS DE LAS FUENTES DE DATOS



2.1. Introducción.

La variabilidad climática resulta de complejas interacciones entre las variaciones forzadas y libres del sistema climático, ya que éste es un sistema disipativo, no lineal y dotado de muchas fuentes de inestabilidad (Peixoto y Oort, 1992). Entre las escalas temporales dominantes de variabilidad climática, tal como las describe Mitchell (1976), podemos, a "grosso modo", destacar cuatro (Stocker y Mysak, 1992): las tectónicas (10^8 años), las orbitales (10^5 años), las oceánicas (10^3 años) y las atmosféricas (10^0 años). Además, existe una componente estocástica que implica un cierto grado de impredecibilidad. La escala temporal en la que estamos interesados, según esto, corresponde a la escala atmosférica, y, en cierto grado, a la oceánica.

Sólo unos pocos datos "proxy" tienen el potencial de proporcionar un registro que puede resolverse a esta escala temporal, a nivel anual o estacional. Estos son (Bradley y Jones, 1992a) los documentos históricos, los anillos de árboles, los núcleos de hielo y el análisis del crecimiento de arrecifes de coral. De estos, la más amplia cobertura geográfica la proporcionan los anillos de árboles y los documentos históricos, ya que los núcleos de hielo se restringen a altas latitudes y los corales a bajas latitudes.

Podemos añadir a este conjunto el análisis de las fluctuaciones glaciares, de cuyo estudio procede el concepto de Pequeña Edad de Hielo (Le Roy Ladurie, 1983; Jones y Bradley, 1992a). A causa de su sensibilidad a los cambios climáticos de diferente magnitud y escala temporal los glaciares constituyen una importante fuente de datos paleoclimáticos. Según Reynaud (1984), constituyen un indicador climático fiable bastante sensible al registro de fluctuaciones climáticas de año en año.

Los datos de fluctuaciones glaciares durante los últimos 4 ó 5 siglos (a partir de núcleos de hielo, documentos históricos y estudios de campo de depósitos glaciares) son numerosos en las regiones alpinas. La mayoría de los glaciares alcanzaron máximos en los siglos XVII, XVIII y XIX, y comenzaron un periodo de marcada recesión durante la segunda mitad del siglo XIX (Porter, 1981). En España, dada su ubicación en una zona templada, los glaciares se sitúan en los grandes macizos montañosos: Pirineos, Cordillera Cantábrica,

Sistema Ibérico y Sistema Central.

Sierra Nevada configura el reducto más meridional del glaciario peninsular (Gómez Ortiz, 1987). Los trabajos sobre el glaciario en Sierra Nevada son escasos y se han realizado de forma intermitente. Según García Sainz (1943), no se aprecian las formas morrénicas propias de las fases de retroceso o acortamiento del glaciar debidas a la alternancia de periodos de cambio climático con otros de estabilidad atmosférica. La morfología glaciar existente, pequeños circos por encima de la cota de los 2100 m (Hempel, 1960) y masas de acumulación en las partes inferiores de los valles (Messerli, 1962), no es el resultado de un modelado reciente, sino que se remonta al Pleistoceno, 9000-15000 años BP, cuando el límite de nieves permanentes durante la máxima extensión de los hielos se fijaría en torno a los 2500-2600 m. Durante el Holoceno, que es el periodo que nos interesa, sólo se detectan neveros de fusión tardía en los aparatos glaciares de Veleta, Río Seco, Mulhacén y Siete Lagunas (Gómez Ortiz, 1987), situándose el límite de nieves permanentes por encima de los 3500 m (Hempel, 1960). En consecuencia, no es posible aplicar la metodología del estudio de las fluctuaciones glaciares (longitud glaciar, balance de masa de hielo) al caso de Sierra Nevada para el periodo histórico.

La dendroclimatología utiliza la anchura de los anillos de árboles para reconstruir las variaciones del clima del pasado. Cada anillo es identificado con el año exacto en que se formó. Analizando el crecimiento de los árboles en un lugar particular donde el clima ha estado limitando los procesos de crecimiento del árbol, puede obtenerse una serie temporal de la respuesta del crecimiento del árbol a las variaciones del clima (Fritts, 1976). Las variaciones de los anillos de árboles pueden ser "proxies" valiosos de las variaciones climáticas que cubren periodos de tiempo desde una estación del año, o desde uno o varios años, hasta la escala temporal del siglo (Stocker y Mysak, 1992). De hecho, las reconstrucciones de anillos de árboles proporcionan una estimación de la historia climática a escala temporal de alta frecuencia, al igual que las variaciones observadas a partir de los datos climáticos instrumentales (Fritts et al., 1979).

Diversos investigadores, utilizando análisis estadísticos multivariantes, han conseguido resultados de interés en diversas partes del mundo, como por ejemplo resultados sobre

temperaturas y precipitaciones en Estados Unidos (Fritts et al., 1979), en Canadá (Jacoby et al., 1988) o Nueva Zelanda (Norton et al., 1989). Otros estudios reconstruyen los procesos de sequía en diferentes partes de Norteamérica (Meko et al., 1980; Meko, 1982; Stockton y Meko, 1983) o incluso las variaciones regionales en la capa de nubes (Stahle et al., 1991). En Europa destacan los trabajos de Serre-Bachet et al. (1992), y Briffa y Schweingruber (1992). En la Península Ibérica, el análisis de crecimiento de anillos de árboles de varias especies de pino es un proxy para las precipitaciones de verano (Richter y Eckstein, 1990), y en el caso de Andalucía, el único análisis dendroclimático de interés presentado hasta ahora corresponde al pino "Pinus nigra Arnold" de la Sierra de Cazorla (Creus Novau y Puigdefábregas Tomás, 1984).

Los anillos de árboles pueden reflejar las condiciones precedentes al año de formación del anillo, que influyeron en la humedad del suelo o las condiciones fisiológicas del árbol previas a la estación de crecimiento (Jones y Bradley, 1992a). Existe un complejo sistema de factores ambientales que puede afectar directa o indirectamente a los procesos que gobiernan la anchura del anillo. Los efectos del clima no necesariamente se realizan en el mismo año del suceso climático, y pueden acumularse durante varias estaciones de crecimiento. Además, árboles de diferentes especies o diversas procedencias responden de manera diferente a las mismas condiciones climáticas. Las mismas condiciones extremas de temperatura y precipitación en una estación del año, que pueden afectar a procesos que limitan el crecimiento, en otra estación del año pueden favorecerlo (Fritts et al., 1979).

Estas dificultades llevan a Folland et al. (1992) a establecer que las indicaciones de los anillos de árboles no son en este momento de fácil evaluación, ni están lo suficientemente integradas con las indicaciones proporcionadas por otros datos como para permitir su utilización. Los datos proporcionados por los índices de anchura de anillos de árboles no se relacionan directamente con los parámetros meteorológicos medidos hoy día (WMO, 1990), ya que responden a una variedad de variables meteorológicas (temperatura, precipitación, insolación, viento) que hacen difícil delimitar la información climática (Pfister, 1992a).

La utilidad de las fuentes históricas para las reconstrucciones climáticas de épocas previas a la era de las medidas instrumentales, ha sido destacada por varios autores (Lamb,

1977; Claxton, 1985, Caviedes, 1991; Bradley y Jones, 1992a). Los documentos históricos, entre todos los tipos de datos "proxy", son los que proporcionan los datos de mayor frecuencia, pudiendo usarse para la reconstrucción sinóptica del tiempo a escala diaria o estacional (Mock, 1991). Los datos históricos pueden asociarse con parámetros específicos del clima y si son fiables, fácilmente interpretables y exactamente fechados, proporcionan una base segura para indicar la variabilidad natural del clima (Wang et al., 1991; Pfister, 1992a, 1992b). En particular, esto se acentúa en la interpretación de los fenómenos extremos y en fenómenos relacionados con la criosfera y el ciclo hidrológico (Stocker y Mysak, 1992). Además, es posible reconstruir patrones espaciales fiables de las condiciones climáticas del pasado por medio de un análisis detallado de este tipo de datos (Wang y Zhao, 1981).

Por otra parte presentan una amplia cobertura geográfica, como evidencian diversos estudios realizados sobre Norteamérica (Mock, 1991; Ball, 1992; Baron, 1992; Catchpole, 1992), Centroamérica y América del Sur (Quinn et al., 1987; Reading, 1990; Caviedes, 1991; Quinn y Neal, 1992), Africa (Nicholson, 1981; Lindesay y Vogel, 1990), China (Wang y Zhao, 1981; Clegg y Wigley, 1984; Gong y Hameed, 1991; Wang et al., 1991; Gong et al., 1992; Wang y Zhang, 1992), Japón (Murata, 1992, 1993), Rusia (Borisenkov, 1992), y Europa (Pfister, 1981, 1988, 1992a, 1992b; Camuffo, 1987; Enzi et al., 1991; Glaser y Hagedorn, 1991; Neumann, 1992; Ogilvie, 1992; Pavese et al., 1992). Además, el estudio de las condiciones de navegación y los bancos de pesca en el pasado puede proporcionar información sobre cambios en la circulación oceánica (Lamb, 1979) ampliando la cobertura geográfica de las zonas terrestres a las marítimas.

Según la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1990), la información sobre el clima que puede obtenerse en archivos y documentos históricos, contiene notables sucesos hidrológicos y meteorológicos, que podrían permitir la evaluación de la contribución antropogénica al cambio climático, mediante una adecuada comparación entre los datos del pasado y los del presente. El valor potencial de los datos históricos para las reconstrucciones paleoclimáticas ha llevado a la recomendación por parte del IPCC en el sentido de la necesidad de ampliar la resolución espacial y temporal de este tipo de de datos (McBean y McCarthy, 1992).

No obstante, al igual que otros datos "proxy", los documentos históricos presentan problemas por la influencia de interferencias no climáticas, entre las que destaca la subjetividad del autor y la influencia de las concepciones culturales y sociales en el momento de registrar los sucesos. Muchos problemas son, pues, evidentes en los conjuntos de datos climáticos históricos. Sin embargo, tal y como afirma Mock (1991) estos problemas no son diferentes de los que plantean otros datos "proxy", y el reconocimiento de los inconvenientes que se siguen del uso de datos históricos, permite la búsqueda de una metodología apropiada para trabajar con ellos.

Según Ogilvie (1992) la carga de subjetividad inherente a estas fuentes de datos, puede ser parcialmente eliminada mediante el uso de métodos estadísticos. Por otro lado, el desarrollo de las técnicas del análisis de contenidos rompe la dependencia total de los investigadores respecto a los registros instrumentales como única fuente de registros climáticos detallados, y permite obtener reconstrucciones cuantitativas que proporcionan considerable información al climatólogo (Baron, 1992).

Otro problema que presentan estos datos es su carácter fragmentado. Sin embargo, incluso la información que es insuficiente para proporcionar cronologías continuas, puede usarse cuando se relaciona con periodos marcadamente anómalos del pasado, tales como los de grandes sequías. En estas circunstancias, los datos fragmentados se hacen útiles, incluso sin una comparación directa con el presente (Nicholson, 1981).

Según Pavese et al. (1992) los datos climatológicos históricos son medidas irregularmente registradas en el tiempo y en el espacio de un "experimento" que no puede repetirse. En consecuencia, el análisis de los datos históricos puede dar una única, y por tanto valiosa, información, con tal de que se haga cuidadosamente y mediante apropiados algoritmos específicos. La reconstrucción del clima del pasado se basa esencialmente en la búsqueda y crítica histórica de las fuentes y de los datos, y, resuelta la problemática respecto al valor histórico, en la elaboración matemática. De la serie de datos de naturaleza cuantitativa se puede luego pasar a la interpretación física: cálculo de tendencias, variabilidad, recurrencia, etc. (Enzi et al., 1991).

Cada periodo histórico debe considerarse individualmente, ya que el interés histórico y científico y los propósitos de los autores cambian con el tiempo. Cualquier suceso debe verificarse objetivamente, teniendo en cuenta los condicionamientos psicológicos debidos a la cultura y los retos de cada época (Camuffo y Enzi, 1992). Para cada periodo histórico particular, a partir del consenso de un conjunto de observaciones, las características individuales de los observadores, debidas a factores como la salud o la enfermedad, la edad, la memoria pobre o inexacta, pueden eliminarse (Baron, 1992).

En consecuencia, los registros históricos presentan un gran valor potencial para los estudios paleoclimáticos, y, en principio, están libres de algunos de los más importantes inconvenientes que se encuentran en el estudio de anillos de árboles, como son la ausencia de limitaciones respecto a la resolución temporal y la posibilidad de asociarse convenientemente a parámetros específicos del clima. El desarrollo de técnicas específicas de análisis y tratamiento permite superar los problemas de fiabilidad y homogeneidad derivados de estos datos. El principal objetivo es la obtención de una base de datos bien localizados, fechados con precisión, y de fiabilidad asegurada (Wigley et al., 1986). Para ello, el primer paso es asegurar la fiabilidad de las fuentes de datos. Según Ingram et al. (1981a) esto se consigue mediante el análisis pormenorizado de las fuentes, y mediante referencias al contexto cultural en el que se produjeron. Dedicamos por ello este capítulo al análisis y descripción de las fuentes de datos consultadas en la sección 2.2. La fiabilidad de las fuentes se discute en la sección 2.3. y la caracterización de los principales tipos de datos que se obtienen de estas fuentes se especifica en la sección 2.4. El estudio de estos datos se pospone para capítulos posteriores.

2.2. Fuentes de datos.

Entendemos por fuentes documentales aquéllos documentos históricos que proporcionan información sobre fenómenos climáticos. Esta información puede ser indirecta, como es el caso de fenómenos de alguna forma relacionados con el clima como fechas de la vendimia (Le Roy Ladurie, 1983), o plagas de langosta (Camuffo y Enzi, 1992), y directa en aquéllos textos que describen los sucesos meteorológicos tal y como eran percibidos por los cronistas de la época. Los criterios seguidos para la selección de las fuentes han sido los siguientes:

a) Se ha centrado el interés en obras (o partes de las mismas) correspondientes a los siglos XVI y XVII, no sólo por el interés específico que para la climatología histórica representa esta época (Pequeña Edad de Hielo), sino también por el gran desarrollo historiográfico de la misma, en el cual se escribieron numerosos textos de carácter histórico.

b) Se ha pretendido cubrir un amplio espectro de géneros, con el fin de obtener una aproximación a los sucesos meteorológicos de la época lo más amplia posible y desde todas las perspectivas posibles.

c) Cuando no ha sido posible consultar ediciones originales o manuscritas se ha acudido a ediciones facsímil del original, o, en su defecto, a reediciones elaboradas por especialistas en el campo de la historia y la paleografía.

El principal problema es asegurar la fiabilidad de las fuentes. Para ello el primer requisito es disponer de una versión exacta del texto original. Muchas ediciones incluyen errores, distorsiones y omisiones causados por una lectura errónea del original, uso de copias imperfectas, textos desautorizados o intervenciones editoriales como reordenación o reducción del original. Al usar textos editados es necesario comprobar las credenciales académicas del editor y asegurar que la edición es adecuada, y está dotada de una introducción o estudio preliminar donde se establece cómo se ha tratado el texto, qué reglas de traducción se han seguido, etc (Ingram et al., 1981a). A este requisito se responde en esta Memoria con el criterio c) mencionado anteriormente para la selección de los textos y fuentes de datos.

Incluso los manuscritos originales o los textos impecablemente editados pueden contener información de dudosa fiabilidad o valía. Así, por ejemplo, los cronistas intentaban con frecuencia presentar información sobre los sucesos no sólo contemporáneos, sino también una cronología para los sucesos más remotos. Por tanto, solían copiar manuscritos anteriores, con frecuencia incomprendiendo y distorsionando el material previo. Inevitablemente se copiaban errores, aparecían fechas y nombres mal leídos, y pasajes confusos desarrollados para intentar dar algún sentido a los errores de su predecesores. Algunas series de crónicas estaban sujetas a constantes ediciones y revisiones, resultando en grupos interrelacionados de documentos, cada uno de los cuales es una compleja amalgama de material original y prestado, información fiable y no fiable (Ingram et al., 1981a). El criterio a) enunciado anteriormente responde a este problema, al seleccionar sólo las noticias recogidas por los autores relativas a la época de estudio. Cuando el autor no era contemporáneo de lo que narra, se seleccionan aquellas noticias a las que tenía acceso en los archivos de su tiempo, y que copiaba literalmente (práctica común en la historiografía de la época). Además, se ha procurado trabajar con obras originalmente escritas en español, para evitar así los posibles problemas de tergiversación y deformación inherentes al hecho de la traducción.

Las pruebas críticas más importantes para asegurar la fiabilidad y el valor de las informaciones son las basadas en los principios de contemporaneidad, parentesco y transmisión fiel. Los aspectos registrados no pueden mantenerse como fiables y válidos a menos que pueda demostrarse que el escritor vivió próximo en el tiempo y en el espacio a los sucesos que se propone describir, y registró sus observaciones inmediatamente o dentro de un corto intervalo de tiempo después de que tuvieran lugar; o bien que tuvo acceso a informes orales y escritos de primera mano, y pueda presumir de haber transmitido exactamente la información derivada de ello (Ingram et al., 1981a). Estos requisitos se siguen en el Apéndice I dedicado al estudio detallado de las fuentes de datos. El objetivo de este análisis es asegurar que los sucesos registrados ocurrieron realmente en un cierto instante del pasado. Hemos dividido a las fuentes de datos en ocho categorías, atendiendo a su carácter y género historiográfico específico, ya que la pertenencia a un género u otro nos informa sobre las características básicas de cada fuente. Se incluyen en el análisis textos que no pertenecen a Andalucía, como los "Anales de Madrid" o diversas relaciones, pues el estudio de las noticias no sería completo sin una visión desde una perspectiva geográfica más amplia,

ya sea para confirmar algunas de las noticias, ya sea para detectar la extensión espacial de algunos sucesos, como sequías o lluvias intensas generalizadas, por ejemplo.

Anales urbanos.

Se entiende por anales urbanos aquellas relaciones cronológicamente dispuestas (año a año) de la historia de una ciudad. El hábito de registrar sucesos notables en forma de anales, crónicas e historias de mayor o menor sofisticación ha sido generalizado desde los primeros tiempos. Así, podemos citar los ejemplos de Islandia (Ogilvie, 1992) o Italia (Pavese et al., 1992). En España este género cobra un cierto auge a mediados del siglo XVII, dentro de un contexto de gran desarrollo de las historias locales de villas y ciudades (Quesada Casajuana, 1988).

Los sucesos naturales, ya sea porque amenazaban las reservas de alimentos o la seguridad física, o simplemente porque estaban fuera de lo ordinario, casi siempre han sido de interés para los compiladores de tales documentos. Los anales locales frecuentemente incluyen relatos detallados de las condiciones meteorológicas. Desde un punto de vista meteorológico son las fuentes de información más ricas entre todos los tipos de crónicas (Ingram et al., 1981a). Los núcleos urbanos dependían críticamente de las reservas de alimentos, y, por tanto, de las vicisitudes del clima. La información climática de estas fuentes narrativas, sin embargo, está muy fragmentada, y normalmente una alta proporción de noticias consiste en informes meteorológicos aislados, tales como grandes tormentas, sequías e inundaciones.

Historias de Ciudades.

En la época de estudio, las ciudades se convirtieron en un factor decisivo de desarrollo y civilización. En ellas tenían lugar las transformaciones sectoriales en la producción artesanal, incrementándose los intercambios y perfeccionándose los métodos financieros. La creciente demanda de las ciudades las fue haciendo cada vez más dependientes del campo, en lo que a abastecimiento de alimentos, materias primas y combustible se refiere (García Cárcel, 1985). Por otra parte, la revolución cosmográfica que supuso el descubrimiento de América colocaba a la Península Ibérica, por su posición geográfica y su papel en la

organización de las nuevas tierras, como centro del mundo. Las ciudades se convertirían así en elementos vitales e indispensables para el funcionamiento del Imperio. En este contexto aparecen las Historias de Ciudades, que tienden a la exaltación de la ciudad y su papel como coordinadora de las actividades de un área extensa (Quesada Casajuana, 1988).

Podemos definir las Historias de Ciudades como toda narración que cubre un periodo de tiempo amplio dirigida a señalar lo que de destacado existe en la ciudad en cuestión. Se distinguen de los Anales urbanos en su estructura y desarrollo. La disposición cronológica es aquí secundaria, prestándose más atención a diversos aspectos, a los que se dedica cada parte de la obra, tales como acontecimientos históricos propios de tiempos antiguos, normalmente desde la fundación de la ciudad; descripción de la ciudad y su entorno; personajes relevantes; edificios religiosos, hospitales e instituciones, etc. Incluimos en este género las historias de "antigüedades" de una ciudad, relatos con referencias a la fundación de la ciudad, discusiones eruditas sobre el nombre de la misma, descripciones del entorno natural, relación con el mundo romano, descripción de monumentos y restos antiguos, etc.

Estas historias comenzaron a escribirse a finales del siglo XV, mayoritariamente en lengua romance, y alcanzaron su auge entre el último cuarto del siglo XVI y las primeras décadas del XVII. De hecho, en ninguna otra década de la Edad Moderna se escriben tantas historias de ciudades como en los años 20 del siglo XVII. El declive del género (el cual duraría hasta el último cuarto del siglo XVIII) se produciría a partir de los años 70 del siglo XVII, y duraría hasta el último cuarto del siglo XVIII (Quesada Casajuana, 1988).

La influencia de los factores meteorológicos en la coyuntura agrícola era muy fuerte, ya que en la época en estudio eran menores los recursos técnicos, más reducida el área de regadío y menos diversificados los cultivos. Los cereales, los cultivos más extendidos, eran más sensibles a las fluctuaciones climáticas (Domínguez Ortiz, 1988). De ahí la atención recogida en estos textos a los diversos sucesos climáticos de carácter extremo que podían poner en peligro la productividad agrícola de las zonas que servían al abastecimiento de las ciudades. No obstante, dado el carácter fragmentado de estas noticias, y las intenciones de exaltación de la ciudad, que llevaban a una descripción idealizada de su clima, estas fuentes pueden caracterizarse como de valor secundario, aunque propocionan información útil sobre

la percepción y consideración de los fenómenos meteorológicos en la época de estudio.

Historias generales.

Entendemos por historias generales aquellas obras de carácter histórico no restringidas a una ciudad concreta, sino dedicadas a glosar el reinado de algún monarca particular o de una rama dinástica, o de un reino concreto. Según Domínguez Ortiz (1988), la expansión del mundo hispánico en la época que nos ocupa, en la que llegó a convertirse en centro de la política mundial, explica el auge de los relatos históricos. Estos abordaban el estudio histórico desde diversas perspectivas: relatos ligados a la crónica medieval, auge de la historia humanística, relatos de sucesos concretos, etc. El mayor desarrollo del género corresponde a los últimos decenios del siglo XVI y comienzos del XVII.

El interés paleoclimático de estos textos reside en su frecuente tratamiento de sucesos de política internacional, con actividades bélicas, travesías marinas, etc. De esta forma, se amplía la cobertura espacial de los fenómenos registrados, cuando, por ejemplo, se analizan las frecuentes noticias de naufragios y tormentas en el mar Mediterráneo. Por otra parte, en estos textos suelen referenciarse fenómenos de amplia extensión, que abarcan prácticamente a toda la Península.

Historias religiosas.

En la época en estudio, la religión impregnaba todos los actos de la vida. De todos los eventos, prósperos o adversos, se hacía responsable a Dios, la Virgen y los santos, sentimiento manifestado en innumerables votos y ofrendas. La implicación de la Iglesia en todos los actos de la vida social, como, por ejemplo, en los casos de penalidades públicas tales como epidemias, hambres, sequías, etc., se realizaba a través de las obras de caridad llevadas a cabo por obispos y conventos religiosos. En un contexto de desarrollo de los estudios históricos esto lleva a la aparición de episcopologios o historias religiosas, género en el que englobamos todas aquellas obras dedicadas a reconstruir historias de obispados, fundaciones religiosas, etc.

Las distintas festividades religiosas guardaban una estrecha relación con la actividad agrícola y los fenómenos climáticos extremos que la ponían en peligro. La importancia paleoclimática de estos textos viene dada por la importancia del estamento religioso y su activa participación en caso de desastres naturales, fundamentalmente sequías, a través de la organización de procesiones y rogativas pidiendo lluvia.

Relaciones, correspondencia, libros de viajes.

Era costumbre en la época la publicación de "relaciones" que, en forma de pasquines y panfletos impresos recogían una gran variedad de sucesos de toda índole, y constituían el antecedente directo de los primeros periódicos. Muchas de estas relaciones se dedicaban a la descripción pormenorizada de los sucesos climáticos de mayor impacto. Las relaciones, dada la inmediatez con que se publicaban tras el suceso, constituyen un fiable documento, además de un importante elemento de contrastación de las informaciones recogidas por otros textos.

La correspondencia, especialmente las cartas enviadas a corresponsales a considerable distancia, suele incluir muchos informes meteorológicos. Los libros de viajes, por su parte, incluyen descripciones y relatos más o menos sistemáticos de los fenómenos climáticos. Respecto a estos últimos, la producción española es abundante en descripciones del clima de las tierras recién descubiertas en América, ya desde los diarios de Colón. No obstante, nuestro interés radica en las condiciones climáticas andaluzas, por lo que los textos de este tipo son escasos.

Registros de la administración civil y eclesiástica.

Los gobiernos en el pasado tenían interés en el tiempo y en los sucesos naturales dada su relación directa con las tasas e impuestos, el desorden público consecuencia de malas cosechas, el mantenimiento de las comunicaciones, los efectos del buen o el mal tiempo en campañas militares y navales, etc. Por tanto pueden encontrarse descripciones directas de las condiciones del tiempo en informes diplomáticos, informes de autoridades locales a sus superiores, etc. En los libros de procedimientos y cuentas de instituciones civiles y religiosas

se encuentran con frecuencia referencias a prácticas religiosas en las que se rogaba la benevolencia divina para preservarse de desastres, pestes y epidemias, sequías o lluvias excesivas, terremotos, inundaciones, incendios, etc.

Estudios sobre los acuerdos y libros de cuentas ofrecen perspectivas de la evolución climática en términos de la importancia para su agricultura del "buen" y "mal" tiempo. Una agricultura cereal tradicional con baja productividad, de subsistencia, dependía desordenadamente de la suerte de las lluvias para asegurar adecuadas cosechas anuales (Alvarez Vázquez, 1986). A partir de tal información es posible estudiar las fluctuaciones de la cosecha cereal. Todas estas evidencias cuantitativas pueden usarse para calcular los años de buenas o malas cosechas en las regiones respectivas, pero estas fluctuaciones no revelan por qué un año o grupo de años era mejor o peor que otro. Aquí las evidencias descriptivas encuentran un papel importante, cuando se combinan con los datos cuantitativos, proporcionando la explicación de las diversas fluctuaciones (Mackay, 1981).

Los datos de tipo económico nos permiten aproximarnos indirectamente a la extensión de los fenómenos meteorológicos, su intensidad y duración, sus efectos económicos, etc. El análisis de los precios entraña alguna dificultad, pues hay que tener en cuenta la progresiva inflación monetaria que recorre todo el registro como una tendencia continua, pero a una velocidad muy variable. El registro debe considerarse en relación a la escasez debida a causas no climáticas, como guerras, plagas, epidemias, etc. Si estas fuentes de error pueden evitarse, los registros de precios del cereal pueden proporcionar una útil indicación de las variaciones del tiempo año a año.

Escritos protocientíficos, filosóficos y religiosos.

El aspecto clave de los escritos protocientíficos es su aproximación a observaciones regulares, comprensivas, de fenómenos meteorológicos o parameteorológicos, normalmente con el propósito de analizar los datos para descubrir regularidades y relaciones entre ellos. Su aproximación era más o menos "científica", aunque este término debe usarse con cuidado (Ingram et al., 1981a). La gran mayoría de las fuentes escritas de valor potencial para los climatólogos se relacionan con sucesos reales, con fenómenos que de hecho sucedieron en

algún momento del pasado. Sin embargo, hay varias clases de fuentes cuya relación con la realidad es más compleja, y que incidentalmente contienen información útil sobre el mundo material, tal y como sus autores lo vieron. El interés de estos textos, así como de escritos literarios o incluso leyendas populares, reside en la información que prestan respecto al contexto cultural y conceptual en que se produjeron las fuentes mencionadas en subsecciones anteriores, más que en la información precisa (localización, datación, descripción) de determinados sucesos.

Según López Piñero (1979), la sociedad española del siglo XVI estuvo sometida a una gran tensión para mantener la hegemonía político-militar en Europa, y para realizar la tarea de descubrimiento, conquista y colonización de América. Esta tensión planteó una serie de exigencias prácticas que reclamaban el desarrollo de disciplinas técnicas, principal contribución de la ciencia española a la renovación científica de la época. En su mayor parte, se trata de saberes aplicados, como medicina, náutica, cartografía, ingeniería naval, militar y civil, técnicas minero-metalúrgicas, historia natural y geografía (Goodman, 1988). La necesidad de que todo el esfuerzo se centrara en los aspectos aplicados hizo que se descuidara el desarrollo de la ciencia pura, con lo que a partir de la segunda mitad del siglo XVI la base doctrinal comenzó a anquilosarse.

Otros aspectos negativos fueron la crisis económica y política que caracterizó el paso del siglo XVI al XVII, y la mentalidad de la Contrarreforma (el Concilio de Trento comienza en 1545 y se prolonga hasta 1563), que trajo como consecuencia el predominio del escolasticismo y el aislamiento cultural respecto a Europa a partir del último tercio del siglo XVI. La difusión y el afianzamiento en Europa del protestantismo produjo un clima de desconfianza ante las realizaciones intelectuales procedentes del extranjero, que se reflejó en la aparición de índices de libros prohibidos (Domínguez Ortiz, 1988).

En el primer tercio del siglo XVII la actividad científica sería una mera prolongación de la renacentista, de espaldas a los nuevos planteamientos que empiezan a cobrar fuerza en otras partes del Occidente europeo. La enseñanza permanece fiel a la tradición humanista, dejando apenas sitio a la enseñanza científica propiamente dicha (López Piñero, 1969). A lo largo del siglo XVII los científicos españoles se ven obligados a enfrentarse con la ciencia

moderna, y lo hacen o bien aceptando algunos resultados como meras rectificaciones de detalle de las doctrinas tradicionales, o bien rechazándolos de plano. La renovación de la física y la astronomía tiene que enfrentarse a la prohibición expresa del heliocentrismo, de modo que física y astronomía permanecen subordinadas a las doctrinas filosóficas. A finales de siglo se detectan ya esfuerzos por tomar contacto con los avances científicos que se estaban produciendo en el resto de Europa, comienzan a romperse los esquemas clásicos y se inicia la asimilación sistemática de las nuevas corrientes.

La primera exposición sistemática de lo que hoy conocemos como geofísica se encuentra en el libro tercero, *De la esphera terrestre*, de la obra del jesuita José de Zaragoza, *Esphera comun, celeste y terráquea*, que data de 1675. Un discípulo de Zaragoza, Pedro Hurtado de Mendoza, publica en 1690 su *Espejo Geográfico*, buen exponente de la ciencia geográfica de finales del XVII, aunque con las limitaciones impuestas por la ortodoxia religiosa, que impiden la aceptación del heliocentrismo (Capel Sáez, 1980). La Meteorología y la Climatología fueron disciplinas que se incorporaron tardíamente a los logros de la revolución científica del XVII (Castillo Requena, 1991). El concepto de clima era heredero de la tradición clásica, en la que el clima no era otra cosa que la inclinación o declive de la Tierra, dada su condición esférica, desde el Ecuador hacia el Polo. El clima hacía referencia a una zona de la esfera terrestre comprendida entre dos paralelos, con una connotación claramente geo-astronómica que lo ligaría profundamente a las ciencias matemáticas (Capel Sáez, 1980). A esta concepción hay que añadir la idea de clima como conjunto de condiciones de habitabilidad de un lugar, idea procedente de la medicina hipocrática (Farrington, 1953). El grado de calor y el grado de humedad, considerados en su interconexión que conforma el ambiente, aparecen como aspectos inmutables y propios de una región dada, es decir, como un hecho geográfico (Jansá Guardiola, 1954). Esta concepción como zona latitudinal y conjunto de condiciones que caracterizan la salubridad de un lugar se mantendría hasta el siglo XIX (Feldman, 1992).

Compilaciones modernas.

Entendemos por compilaciones modernas los compendios realizados a lo largo de los siglos XIX y XX que, a primera vista, proporcionan un banco de datos convenientemente

realizado, aunque, en realidad, muchas de estas compilaciones son muy defectuosas como fuente de datos. La transmisión de datos originales suele ser insatisfactoria en estas compilaciones, pues a menudo consisten en material abreviado, traducido, parafraseado o resumido, y cada nueva desviación del original implica alguna pérdida o distorsión de información, errores de datación, nula distinción entre fuentes fiables y no fiables, etc. Entre las primeras compilaciones de las que tenemos noticia, se encuentra la *Historia crítica de las riadas o grandes avenidas del Guadalquivir en Sevilla*, publicada en Sevilla en 1878 por F. de Borja y Palomo, y que luego sería utilizada por Fontana Tarrats para su *Quince siglos del clima andaluz*, que es la compilación que básicamente hemos analizado. Dados los problemas que presentan las compilaciones, sólo aquellas noticias exactamente datadas, bien localizadas y basadas en fuentes fiables, han sido utilizadas para completar el registro.

2.3. Fiabilidad de las noticias.

En general, los autores cuyos textos hemos analizado eran de similar nivel educacional y cultural, la mayoría eran religiosos o estaban relacionados con el mundo del derecho y del comercio. Casi todos fueron testigos de los hechos que narran, o bien se documentaron en fuentes escritas u orales a las que tuvieron acceso. Por otra parte, la mayoría residieron en Andalucía y en particular en las ciudades de las que hablan. Los criterios de contemporaneidad y proximidad en el espacio se ven satisfechos en casi todos los casos. El criterio de transmisión fiel de aquellas noticias que no observaron directamente, queda asegurado al apreciar su lugar habitual de residencia y su nivel cultural, ya que o bien tenían acceso a la información por transmisión oral de testigos directos, o podían hacer uso de archivos locales, a cuyo uso muchos de ellos estaban acostumbrados.

La utilización de distintos tipos de fuentes, que cubren distintos periodos de tiempo y en diferentes partes de Andalucía, permite contrastar las noticias dadas por los autores y asegurar su fiabilidad. Así, cuando el suceso narrado es más distante en el tiempo del momento de la redacción del texto, podemos corregir los posibles errores cometidos. El procedimiento seguido se ilustra a continuación con dos ejemplos.

Jorquera, en los *Anales de Granada*, comete un error de datación para la sequía de comienzos del siglo XVII, situándola un año antes de su aparición. Este error sería reproducido ya en el siglo XX por Fontana Tarrats, quien califica al año 1604 como "desconcertante". Este año no resulta tan desconcertante si realizamos una oportuna comparación con otros textos. Basta con comparar con la *Historia Eclesiástica de Granada* de Pedraza, donde esta sequía se sitúa un año después, a partir del invierno de 1604-5. El texto de Pedraza es anterior en su fecha de publicación, por lo que resulta más fiable. Además, Jorquera prácticamente copia literalmente la descripción que hace Pedraza de la sequía. Sin embargo, aún no queda la fecha de esta sequía establecida con seguridad. Si usamos los textos de Rodrigo Caro, quien en *Santuario de Nuestra Señora* realiza una pormenorizada descripción de la sequía y las rogativas que provocó, afirmando su condición de testigo de vista, encontramos la confirmación de la noticia de Pedraza, datando el suceso en 1604-5. Si buscamos una última confirmación, podemos acudir a los libros de actas del

Cabildo Municipal de Granada, en concreto al Libro VII, que cubre el año 1604 entero, y sólo informa de una situación de sequía, y de los esfuerzos por importar trigo y cebada llevados a cabo por la ciudad, a finales de año, y no en la primavera del 1604. Dado que las diferentes fuentes informan de la prolongación de la sequía hasta el verano de 1605, la ausencia en los Libros de Actas de informaciones sobre sequías en la primavera de 1604 ofrece una última confirmación de la fecha correcta, y la obligada corrección de la fecha dada por Jorquera.

El segundo ejemplo nos lo proporciona la tormenta del 28 de Agosto de 1629 en Granada. Alonso de Torres, en la *Crónica de la Provincia Franciscana de Granada* sitúa esta tormenta en 1626. El error se debe a la fecha de redacción de su crónica, aproximadamente unos cincuenta años después, al comienzo de la década de los 80. Esta tormenta encontró suficiente eco en la literatura de la época, encontrándose su descripción en los textos de Jorquera y Pedraza, así como en al menos dos relaciones publicadas aquel mismo año. Pudiera ocurrir, sin embargo, que Torres se refiriera a un fenómeno distinto del generalmente recogido. Para comprobarlo, basta con consultar los *Anales* de Jorquera, que se empezaron a escribir a partir de la década de los 20, es decir, muy próximos en el tiempo al suceso. Pedraza, que publicó su *Historia Eclesiástica de Granada* en 1637, también podría haber recogido esa supuesta tormenta del verano de 1626, pero tampoco lo hizo. Hemos de concluir, por tanto, que Torres comete un error de datación y no se produjo tal tormenta en el año 1626. Pudiera pensarse que Torres confundió esta noticia con otra relativa a este año, que fue conocido en la Península Ibérica como el "año del diluvio" (Font Tullot, 1988), pero las noticias relativas a intensas y continuadas precipitaciones, acompañadas de inundaciones en muchos sitios, son relativas a los meses de Enero y Febrero de 1626, y no al mes de Agosto.

Como vemos, mediante la comparación de unos textos con otros, y sobre todo, con las fuentes más fiables, aquéllas escritas con suficiente proximidad en el tiempo y en el espacio, como las relaciones y los documentos de las instituciones civil y eclesiástica, se evita el problema de la duplicación de las noticias y se corrigen los posibles errores cometidos en los textos.

Otros criterios para asegurar la fiabilidad de los autores radican en su acierto a la hora de describir otros sucesos, aunque no sean de índole meteorológica. Así, por ejemplo, la exacta descripción de la aparición de epidemias (como la peste de 1649 en Sevilla), de sucesos políticos y militares (la Guerra de Granada en 1482-1492, la Rebelión de los moriscos en 1568, las fechas clave de comienzo y final del reinado de un monarca particular), de sucesos de interés social (el cambio al calendario gregoriano en Octubre de 1582) o la descripción de fenómenos astronómicos (como la aparición del Cometa Halley en 1607), nos informa del rigor de los autores a la hora de recoger las distintas noticias que componen sus obras, rigor que es de suponer no faltará en el caso de las noticias meteorológicas.

En la Tabla II.3.1 se ofrece un resumen de las fuentes utilizadas (identificadas con la clave asignada en el Apéndice I) especificando los años particulares o periodos de tiempo cubiertos por cada una de las fuentes. En conjunto, las noticias recogidas abarcan desde del siglo XV a mediados del siglo XVIII, y se refieren fundamentalmente a las distintas capitales andaluzas, destacando las ciudades de Sevilla, Granada, Málaga, Córdoba y Loja. En la Tabla II.3.2 se especifica el número de fuentes distintas y de géneros historiográficos (a excepción de las fuentes de carácter protocientífico, filosófico o religioso, clave P) correspondientes a cada periodo de 50 años desde comienzos del siglo XV hasta mediados del siglo XVIII. La utilización de distintas fuentes, correspondientes a distintos géneros permite la contrastación de las noticias obtenidas. La aplicación de los criterios de validez enunciados asegura la fiabilidad de las noticias, con lo cual podemos asegurar que contamos con una base de datos suficientemente informativa sobre las condiciones climáticas en la época comprendida entre el 1451 y el 1700, con más de diez fuentes y la práctica totalidad de los géneros considerados en cada periodo. Este periodo corresponde al dominio de los Reyes Católicos y los Austrias en España, el cual puede considerarse desde el punto de vista técnico y cultural como un periodo claramente definido dentro de la Historia Moderna de España. A partir del 1700 podemos considerar una nueva etapa, que exige un análisis diferenciado de las características culturales de la época. En el 1700 se instala en España la dinastía borbónica. Una concepción europea de la vida va a intentar modificar e incluso sustituir la mentalidad española moldeada por la Contrarreforma (Vicens-Vives, 1959).

TABLA II.3.1.- Periodos de tiempo cubiertos por las fuentes consultadas. < significa noticias anteriores a ese año para aquéllas obras que no siguen un orden cronológico estricto. Análogamente, > indica noticias posteriores al año de que se trate.

Fuente	S.XV	S.XVI	S.XVII	S.XVIII
AU-1	1482-1492	1588,1590	1603-1646	
AU-2		1600	1601-1678 1680,1684 1691,1692	
AU-3	1401-1500	1501-1600	1601-1700	
AU-4	<1500	<1600	1601-1658	
HC-1		<1598		
HC-2		<1600		
HC-3		<1600		
HC-4			<1628	
HC-5				<1762
HG-1	1431-1492			
HG-2	1482-1500	1501-1600	1601-1621	
HG-3		1516-1600		
HR-1			1604,1605	
HR-2	1492-1500	1501-1600	1601-1633	
HR-3		1583-1600	1601-1681	
R-1	1494			
R-2		1561-1569		
R-3		1554,1560 1576,1582 1585,1586 1588,1589 1590,1599 1600	1602,1608 1610,1617 1656,1668	
R-4			1604,1618 1626,1628 1629,1636 1651,1653 1661,1671 1680,1681 1684	
R-5			1629	
A-1	1488-1500	1501-1600		
A-2		1522,1557 1566	1604,1614 1618	
A-3		>1560		<1800
A-4		<1575		
A-5	1493-1500	1501-1600	1601-1700	1701-1800
C-1	1401-1500	1501-1600	1601-1700	
C-2	1401-1500	1501-1600	1601-1700	1701-1800

TABLA II.3.2.- Número de fuentes y géneros historiográficos consultados para cada periodo de 50 años desde 1401 hasta 1750.

Periodo	Fuentes	Géneros
1401-1450	10	4
1451-1500	16	7
1501-1550	16	6
1551-1600	22	7
1601-1650	18	7
1651-1700	11	6
1701-1750	4	3

Esto también se reflejará en la vida económica, al liberalizar hacia mediados de siglo el comercio de diversos productos, modificando así la organización de la estructura agraria. El análisis del contexto cultural y científico permite no sólo apreciar las principales motivaciones que llevaban a los autores a recoger las noticias meteorológicas, sino también eliminar del

conjunto de noticias registradas algunas de dudosa fiabilidad. Así, por ejemplo, las informaciones genérico-descriptivas dedicadas al clima de un lugar determinado, que aparecen sobre todo en las Historias de Ciudades, responden más a una visión idealizada de la ciudad, propia de la literatura historiográfica de la época (Quesada Casajuana, 1988), que a una observación rigurosa de la realidad. Estas noticias, por tanto, deben usarse con cautela, para precisar el contexto cultural de las fuentes en relación con el clima, pero no para establecer hechos que ocurrieron en un lugar determinado y en un instante dado.

El estudio presentado en esta Memoria no es exhaustivo. Existen aún muchas fuentes inexploradas que pueden incorporarse en el futuro a las aquí presentadas. No obstante, estamos en condiciones de asegurar que hemos recogido los principales fenómenos meteorológicos que afectaron a Andalucía en la época en estudio.

2.4. Carácter de las noticias encontradas.

Asegurada la fiabilidad de las noticias recogidas, el siguiente paso es analizar los datos que proporcionan. El objetivo es conseguir un conjunto suficientemente homogéneo de datos, susceptible de un tratamiento estadístico. Para ello, es necesario en primer lugar establecer una clasificación basada en los distintos tipos de noticias, atendiendo a cuál sea su carácter, cuantitativo o cualitativo, directo o indirecto. Cada grupo de noticias, por su propia naturaleza, exige un tratamiento distinto y será objeto de análisis en capítulos posteriores. A continuación, pasamos a describir los principales tipos de noticias, y a especificar en qué fuentes son más comunes.

a) Noticias indirectas cualitativas.

Entendemos por noticias indirectas aquéllas que proporcionan información sobre fenómenos de alguna forma relacionados con el clima, pero no estrictamente meteorológicos. El carácter cualitativo indica que sólo existe información descriptiva, no cuantitativa, de estos fenómenos. Es el caso de las referencias a la plaga de la langosta, la existencia del comercio de la nieve, las alusiones a obras de infraestructura hidráulica, provocadas por el déficit o el exceso en algún componente del ciclo hidrológico, o las informaciones sobre "buenas" o "malas" cosechas en un año particular. La aparición de estas noticias es común a prácticamente la totalidad de las fuentes, con la excepción de las compilaciones modernas (donde se utilizan para confirmar otras informaciones sin una calibración precisa con los fenómenos climáticos).

b) Noticias indirectas cuantitativas.

En esta categoría incluimos las noticias de tipo económico, y especialmente las relacionadas con la productividad agrícola y los precios de los productos agrícolas en el mercado. En una sociedad de economía agrícola, y dotada de escasos medios técnicos, en lo que respecta a aprovechamiento de suelos, diversidad de cultivos, técnicas de cultivo, utillaje, etc., los fenómenos meteorológicos influían de manera decisiva en la marcha de la productividad agrícola y la evolución de los precios del grano. Los archivos locales y eclesiásticos son las principales fuentes de este tipo de datos.

c) Noticias directas cualitativas.

Entendemos por noticias directas aquéllas que recogen descripciones de fenómenos meteorológicos que pueden localizarse y fecharse con cierta exactitud. A la hora de valorar estas noticias es necesario tener presente el contexto cultural en que se producen y cómo influye en la percepción de los fenómenos de los autores. Estas noticias aparecen en todas las fuentes tratadas, a excepción de las ediciones modernas de datos económicos cuantitativos.

d) Noticias directas cuantitativas.

En este apartado se incluirían las primeras observaciones instrumentales de fenómenos meteorológicos, es decir, las primeras mediciones de temperatura y precipitaciones. Aunque el desarrollo de los primeros instrumentos meteorológicos comenzó en Europa a lo largo del siglo XVII, en España este desarrollo sufrió un retraso, paralelo en general al de la ciencia moderna en nuestro país. No contamos, pues, con mediciones que se remonten a mediados del XVII, como ocurre, por ejemplo, en Inglaterra (Manley, 1974). Las series instrumentales más antiguas, por otra parte, presentan varios problemas en cuanto a la homogeneidad de los datos, que vienen dados por las características técnicas de los primeros instrumentos, las condiciones de exposición, la hora del día en que se tomó la lectura, cambios en estos factores, etc. (Jones y Bradley, 1992b). Las series de datos instrumentales más antiguas en Andalucía corresponden a San Fernando y Gibraltar, en la provincia de Cádiz (Servicio Meteorológico Nacional, 1943). Estas series comienzan en 1805 y 1791, respectivamente, y presentan numerosos huecos. En general, pues, será imposible encontrar un periodo de solapamiento entre este periodo instrumental y el periodo cubierto por los anteriores tipos de noticias, a excepción de unas pocas series de productividad agrícola, como veremos en el próximo capítulo. La calibración directa entre datos instrumentales y datos históricos "proxy" es, pues, en este momento de la investigación, imposible, por lo que será necesario desarrollar las estrategias necesarias para el tratamiento de los distintos tipos de noticias.



CAPITULO III
DATOS INDIRECTOS



3.1. Introducción.

Las fluctuaciones y cambios climáticos afectan al entorno de las actividades humanas de tantas maneras diferentes, que los datos respecto a ellas son abundantes. Son muchos los ejemplos que pueden proporcionarse sobre hechos del pasado de alguna forma relacionados con el clima. Así, por ejemplo, Braudel (1972), utiliza datos sobre los seguros marítimos contratados en el puerto de Ragusa en 1560, o sobre la aduana de Liorna (cargamentos desembarcados en puerto, número de barcos implicados, procedencia) en el siglo XVI para destacar las oscilaciones económicas interanuales debidas al ritmo estacional en el Mediterráneo, donde los meses de Abril y Mayo, a la salida del invierno, y de Julio y Agosto, inmediatamente después de la cosecha de cereal, eran los de más intensa actividad. Por otra parte, este autor indica cómo la duración de los viajes de ida y vuelta de los peregrinos alemanes a Tierra Santa en el periodo 1507-1608, revela las peores condiciones climatológicas para la navegación en invierno, cuando el viaje duraba aproximadamente el doble que en verano.

La serie de aspectos en los que pueden verse respuestas a desviaciones climáticas incluye, entre otros, los siguientes (Lamb, 1977): límites de cultivos y establecimientos humanos, tanto en latitud como en altitud; cambios en el uso de la tierra (deforestación, supresión de riegos y cultivos); variaciones en rutas de migración, viajes de exploración y comerciales; realización de obras de ingeniería (puentes, canales, puertos); registros de hambres y epidemias o aspectos específicos registrados en el arte o en la arquitectura.

Según Bridgman (1983), la Pequeña Edad de Hielo, con su creciente variabilidad en el régimen de los vientos alisios, aumento de las tormentas e incremento de los aerosoles volcánicos, puede haber ayudado a impedir los movimientos migratorios entre las islas de la Polinesia, frecuentes en el Pequeño Optimo Climático (periodo cálido, previo a la Pequeña Edad de Hielo, entre los siglos IX y XIII), limitándolos a movimientos entre islas adyacentes. Jin Qi Fang y Guo-Liu (1992) han estudiado series temporales de las migraciones hacia el sur y hacia el este de los pueblos nómadas de las praderas meridionales de Mongolia y Asia Central en el periodo 190 a.C.- 1880 d.C., encontrando una estrecha relación entre cambio climático y migraciones. Estos autores suponen que el clima no fue la fuerza generadora

subyacente a las migraciones, pero sí que influyó a través de la percepción física y de la toma de decisiones de los pueblos afectados. Algunos registros, de hecho, sugieren que algunas grandes migraciones siguieron a severas sequías u otros desastres climáticos. En España, los movimientos migratorios, como veremos, se limitaron al éxodo rural hacia las ciudades de las poblaciones campesinas arruinadas por las malas cosechas.

La construcción de puentes, obras de reparación y canalización de corrientes, presas, etc., puede proporcionar información sobre el caudal de los ríos y los cambios en estos inducidos por la variabilidad de las precipitaciones. Así, las referencias a reparaciones en acequias y canales de riego en los Libros de Cabildo de Granada (A-2) o de Loja (A-1) son mucho más frecuentes en años lluviosos (como, por ejemplo, 1618) que en años secos (1521). Aparte de las informaciones sobre el estiaje de los ríos, como las que dan cuenta de "ríos de invierno" o "ríos secos en verano" (A-3), es posible encontrar puentes sobre ríos hoy en día completamente secos, como es el caso de los ríos San Leonardo y Erminio, en Sicilia (Lamb, 1977). Las riadas destruían los puentes, o bien pudrían la madera dejándolos en estado de ruina. En 1513, el Cabildo de Loja (A-1) consiguió llevar a efecto las obras de reparación del viejo puente de madera sobre el río Genil, proyecto que había tenido su origen en el año 1503, comenzó a realizarse en 1504 y tuvo que dilatarse hasta 1513 a consecuencia de la falta de medios económicos, tras la crisis provocada por la sequía de 1506. En Sevilla, llegó a tomarse la medida de prohibir el tránsito de los carruajes en años de fuertes lluvias e inundaciones, pues, tras las riadas, los edificios construidos con endebles materiales quedaban reducidos a la ruina, y al borde del desplome como consecuencia del trepidar de los coches (AU-2). Ximénez Patón, en su "Historia de Jaen" (HC-4), refiriéndose al obispado de D. Alonso Suárez (1499-1522), relata (sin fechar la noticia con precisión) las obras de construcción del puente sobre la fuente el Sauce, necesario para mejorar las comunicaciones entre ambas riberas y evitar los peligros de las crecidas. En los "Anales de Sevilla" (AU-3) se describen algunas de las medidas tomadas para evitar en lo posible los desastres causados por el desbordamiento del Guadalquivir. Entre estas, son destacables las obras de canalización, con históricos cambios del curso del río a su paso por la ciudad, limpieza del cauce y construcción de zanjas y canales. Sin embargo, ya Ortiz de Zúñiga (Vol. II, pag. 8-9) nos cuenta cómo estas precauciones fueron olvidadas a lo largo de los siglos XVI y XVII.

Las inundaciones se producían como consecuencia de intensas precipitaciones, ya fueran lluvias continuas que se prolongaban durante varios días (el año 1642, en Sevilla, temieron la posibilidad de una inundación tras cuatro días de lluvias continuas (AU-1)), o lluvias torrenciales de apenas unas horas de duración. El problema se agravaba dada la penuria de las medidas de prevención y las escasas obras hidráulicas efectuadas. En 1661, el obispo de Málaga entendía que entre las causas de la inundación del Guadalmedina que asoló a la Ciudad en el mes de Septiembre, se encontraba la falta de limpieza del cauce (Colosía Rodríguez, 1978). Las crecidas de los ríos son un buen indicador de las variaciones climáticas, puesto que proporcionan una medida integral de las precipitaciones sobre las regiones de las cuencas hidrográficas, si otras condiciones permanecen inalteradas. Así, por ejemplo, Fraedrich y Bantzer (1991) analizan las fluctuaciones de los niveles del río Nilo en el periodo 715-1470 como consecuencia de la diferente dinámica del clima en los episodios húmedos y secos que afectan al Africa Tropical. Lamb (1977), habla de la navegabilidad de los ríos como posible indicador paleoclimático. Ríos que en el pasado eran navegables, hoy pueden no serlo. Por ejemplo, Ortiz de Zúñiga (AU-3), se refiere al Guadalquivir y a los intentos de Felipe II por establecer la navegación fluvial en 1561, basándose en las noticias sobre ésta entre Sevilla y Córdoba procedentes del siglo XIII. En nota a pie de página, Espinosa, editor y continuador de los Anales, indica que la navegación faltó a principios o mediados del siglo XVI. Es posible, sin embargo, que no fueran causas climáticas las responsables de estos cambios. También pudieron afectar cambios en la dimensión y el calado de los barcos, acumulación de sedimentos en el cauce del río, mayor uso del agua para cultivos de regadío, etc.

Uno de los aspectos que más preocupan hoy día sobre el problema del cambio climático es el del aumento del nivel del mar (Frasetto, 1991) como consecuencia de la posible fusión de los hielos polares resultante del calentamiento de la Tierra. Los cambios en el nivel del mar constituyen un fiable indicador paleoclimático. Según Lamb (1977), el periodo del comercio marítimo griego y fenicio, y el establecimiento por estos pueblos de colonias alrededor del Mediterráneo, coincidió con un descenso general del nivel del mar asociado al clima más frío del periodo 600-100 a.C. Las obras portuarias, reconstruidas a partir de hallazgos arqueológicos fechados alrededor del 500 a.C. en Nápoles y en el Adriático, indican un nivel del mar más de 1 m por debajo del actual. Hay evidencias

similares en varios puntos de la costa norte de Africa, costas del Mediterráneo Oriental, el Egeo y Crimea. En España, tenemos un ejemplo interesante, posible indicador de un descenso del nivel del mar, como consecuencia de la irrupción de la Pequeña Edad de Hielo, durante el siglo XVI, en el texto de Orozco "Historia de Cádiz" (HC-1), donde, al describir San Lúcar de Barrameda, en la desembocadura del Guadalquivir (pág. 288), describe el crecimiento de la ciudad por terrenos setenta años antes cubiertos por el mar.

Los cambios históricos en la línea de la costa pueden deberse a fases sucesivas de erosión y sedimentación, como ocurre por ejemplo en Taormina, Sicilia, con fases alternativas de unos 15 años de duración (Braudel, 1972). Sobre el papel de la erosión del mar, encontramos varios ejemplos en la obra de Orozco (HC-1), en su descripción de la ciudad de Cádiz (pág. 189), cuando explica el desmoronamiento de peñascos y murallas como consecuencia del oleaje. Refiriéndose a la formación de la península donde se sitúa Cádiz, este autor describe las modificaciones de la línea de la costa como consecuencia de la acción de terremotos e inundaciones marinas. Dado que este texto es de finales del siglo XVI, quizás tuviera el autor noticias de las severas inundaciones en Europa Occidental los días 11 y 12 de Noviembre de 1570 (Lamb, 1991). Pudiera ser también una apreciación sobre las condiciones generales de finales del siglo XVI.

Respecto a los vientos, encontramos vestigios de su acción en la descripción de la arquitectura local de Cádiz, donde las construcciones tenían azoteas en lugar de tejados para evitar los efectos de los temporales. Orozco se refiere con frecuencia a los vientos de levante, y su acción erosiva sobre Cádiz, extendiendo las zonas de arenales. Destaca este autor el predominio de estos vientos, dando como prueba el haber residido en la ciudad durante el periodo 1578-1598, y posteriormente describe cómo a finales del siglo XVI se enarenaron y destrozaron algunas huertas y viñas.

De todos los datos indirectos, los más interesantes son los referidos a actividades económicas muy vinculadas a los fenómenos climáticos. Entre éstas, podemos destacar las actividades pesqueras, que seguían el derrotero de los bancos de pesca, influidos por las temperaturas de la superficie del mar (Lamb, 1979), y las actividades agrarias, en especial la supresión de cultivos o el desplazamiento geográfico de los límites de las zonas de

explotación de algún cultivo particular. Así, por ejemplo, López Gómez (1972), refiriéndose a la caña de azúcar en Valencia, identifica un periodo de rápida expansión en el siglo XV y un declive que, con altibajos, comenzó en la segunda mitad del siglo XVI y redujo el cultivo a la huerta de Gandía durante el XVII, coincidiendo con la Pequeña Edad de Hielo. Basándose en los límites fenológicos de la caña de azúcar, muy sensible al frío y las heladas, este autor vincula la desaparición de este cultivo en la región de Valencia al periodo frío de la Pequeña Edad de Hielo, con nevadas que afectaron a esta región los años 1604, 1608, 1609, 1619, 1622 y 1624.

Dedicamos este capítulo a tres tipos de datos indirectos que reflejan una respuesta inmediata en el tiempo a los fenómenos meteorológicos, aunque ésta no sea simple ni lineal, por lo que permiten inferir con bastante precisión cronológica los fenómenos que los provocaron. En primer lugar, estudiaremos las informaciones encontradas respecto al comercio de la nieve, una actividad muy extendida por la Península durante la época. El estudio de la plaga de la langosta, conocida la respuesta del insecto a la variabilidad meteorológica, puede aportar también información interesante. Dado el impacto directo de los fenómenos meteorológicos en la evolución de las diferentes fases fenológicas de las plantas, y en especial de los cultivos imprescindibles para la subsistencia, dedicaremos parte de este capítulo al análisis de la producción cereal.

Finalmente, en la última sección de este capítulo, realizaremos una comparación entre las inferencias climáticas obtenidas de cada tipo de dato, con el fin de establecer las condiciones generales de la época de estudio en Andalucía. La posibilidad de extender el estudio a otros datos, y las perspectivas para el futuro también serán contempladas.

3.2. Comercio de la nieve.

El consumo de nieve se había popularizado entre griegos y romanos en la época clásica, utilizándola para refrescar bebidas y como medicina, y gozó de gran éxito entre los árabes, generalizándose su uso en España, sobre todo a partir del siglo XVI. La presencia de una serie de ciudades y villas con una elevada población, provocó una fuerte demanda de nieve, artículo que durante los siglos XVII y XVIII gozó en toda España de una extraordinaria popularidad entre todas las clases sociales urbanas (Capel Sáez, 1968). En la segunda mitad del siglo XVI, al popularizarse el uso de la nieve, surge la necesidad de buscar lugares para el almacenamiento. Esto da lugar a la construcción de pozos para encerrar la nieve en las sierras, como, por ejemplo, en las montañas navarras y aragonesas, en las cordilleras costeras catalanas, las umbrías de las sierras al norte de Mallorca, en la sierra de Alcublas (Valencia), en la Sierra de Guadarrama, etc. (Capel Sáez, 1971).

Según Capel Sáez (1968), al analizar los documentos referentes al comercio de la nieve en los siglos XVII y XVIII se tiene la impresión de que las cantidades de nieve caídas en Sierra Espuña y que eran objeto de dicho comercio, alcanzaban un volumen considerable, difícil de precisar pero superior al actual. La masa montañosa de Sierra Espuña tiene una altitud máxima de 1578 m sobre el nivel del mar, y en sus cimas más altas sólo aparecen nevadas durante el invierno con un valor medio de unos 3 ó 4 días de nieve en el periodo 1952-1964. El hecho de que el periodo de innivación sea muy breve en toda la sierra, y de que las cantidades de nieve caídas en la actualidad sean insuficientes para llenar los pozos de la época que subsisten, lleva a este autor a considerar la posibilidad de que este periodo fuera más frío que el actual. El estudio de los pozos de nieve en la Sierra de las Nieves, en la provincia de Málaga, ha llevado a Colosía Rodríguez y Gil Sanjuán (1980) a similar conclusión. En consecuencia, el comercio de la nieve puede resultar un útil indicador paleoclimático.

En Andalucía existían pozos en la Serranía de Ronda, para el abastecimiento de Málaga, Antequera y Ronda; en la Sierra del Jobo, para el abastecimiento de Archidona; en la sierra de Filabres para la ciudad de Almería, así como pozos en el interior del casco urbano de ciudades como Cádiz y Córdoba (Capel Sáez, 1971). El abastecimiento de

Córdoba dependía totalmente del exterior, de la Sierra de la Pandera y Sierra Mágina (Aranda Doncel, 1986). Málaga, ciudad que ofrecía una demanda importante por sus condiciones climáticas y carácter portuario, se abastecía de la Sierra de las Nieves, entonces denominada Sierra Yunquera (Colosía Rodríguez, 1979).

Entre los impuestos extraordinarios de que se valió Felipe II para facilitar fondos al erario público, uno fue la imposición de dos maravedís (unidad monetaria de la época) en cada libra de nieve y hielos que se consumieran. Con el tiempo se aumentó el gravamen a una quinta parte del beneficio obtenido, es lo que se denominó "quinto de la nieve" (Colosía Rodríguez y Gil Sanjuán, 1980). Esta actitud para tomar del producto de las rentas públicas las cantidades que se estimaran oportunas prosiguió hasta el siglo XVIII con los monarcas borbónicos (Domínguez Ortiz, 1983). En consecuencia, datos sobre el importe de este impuesto informan sobre los niveles de consumo de la nieve en la época, e, indirectamente, sobre los niveles de innivación en las zonas montañosas. Colosía Rodríguez y Gil Sanjuán (1980) han encontrado datos referentes al quinto de la nieve en Málaga durante las primeras décadas del siglo XVII, los cuales muestran una tendencia ascendente que quizá refleje un aumento de las precipitaciones en forma de nieve en la Sierra de las Nieves durante el periodo 1610-1620 (Tabla III.2.1). No obstante, esta conclusión es precipitada mientras no sea contrastada con otras informaciones. La afluencia de la nieve en esta zona meridional se debe a la altitud y a la influencia de vientos de componente norte, factores que originan en la comarca inviernos muy fríos, con abundantes nevadas (Colosía Rodríguez, 1979).

TABLA III.2.1.- "Quinto" del hielo expresado en maravedís (mrs.) procedente del comercio de la nieve de Sierra de las Nieves (Málaga), según datos de Colosía Rodríguez y Gil Sanjuán (1980).

Año	mrs
1610	187000
1611	300000
1612	170000
1614	238000
1617	680000
1620	1500000

El principal centro de consumo en Andalucía se encontraba en Granada. La proximidad de Sierra Nevada, donde existen ventisqueros con nieves perpetuas (Canchiles, Hoya de la Mora, Barranco de San Juan, Corrales del Veleta) permitía venderla muy barata y exportarla a muchos pueblos de Andalucía Oriental (Capel Sáez, 1971), e incluso a Murcia, Cartagena, Orihuela y Lorca, cuando faltaba nieve en Sierra Espuña (Aranda Doncel, 1986). La nieve se obtenía de los ventisqueros de nieves perpetuas o de fusión tardía y se transportaba a lomos de mulos a la ciudad. De hecho, el negocio de los neveros siguió hasta principios del siglo XX, apareciendo en el Boletín Oficial de La Provincia un mandato del gobernador civil José Reynoso que amenazaba con detener a quien cogiera, transportara o vendiera sin permiso nieve de la Sierra (B.O.P., 1 Junio 1928).

En la época que nos interesa, encontramos información sobre el comercio de la nieve en la ciudad de Granada en los Libros de Cabildo del archivo municipal de Granada del siglo XVII (A-2). Así, el 29 de Octubre de 1604 se encarga a Diego Ruiz todo lo relacionado con el abastecimiento "igual que en años anteriores". En el año 1614 se organiza todo lo relacionado con los lugares de venta de la nieve el 3 de Enero, y el 15 de Febrero se hace recuento de los beneficios obtenidos. El 11 de Junio prosigue la venta, y se eliminan impuestos con el fin de bajar los precios. Es de destacar que, aunque han subido los precios, lo cual puede resultar del lógico encarecimiento del producto debido a la época del año (en la que ya debía quedar poca nieve en la sierra) y a las pérdidas sufridas en el transporte, el comercio se mantiene e incluso se liberaliza.

En el año 1614, a diferencia del 1604, la organización de las tiendas de venta al público se realiza a comienzos de año y no en el mes de octubre. ¿Es esto indicativo de una diferencia en el momento de las nevadas entre estos dos años? Los datos que proporciona la fuente A-2 a este respecto son, lamentablemente, insuficientes. Sin embargo, sabemos (AU-1) que el invierno y la primavera del año 1614 no se caracterizaron por ningún suceso meteorológico excepcional en la ciudad de Granada, mientras que el invierno 1603-4 y la primavera de 1604 registraron fuertes lluvias en Andalucía, con inundaciones en la ciudad de Sevilla (AU-2, AU-3). La posibilidad de la aparición de nevadas tardías (en primavera) en el año 1604 junto con unos bajos valores de temperatura en altura durante los meses de verano, pudo llevar a adelantar la organización del comercio de la nieve. Por otro lado, en

el otoño de 1604 comenzó una situación de sequía que se prolongaría hasta la primavera del año siguiente. La situación anticiclónica causante de la sequía pudo provocar la aparición de heladas que mantuvieran en las cumbres de la sierra los restos de nieve supervivientes al periodo estival. El hecho de que la organización de la venta de la nieve se realizara de manera similar a años anteriores podría informar o bien de que situaciones similares se producirían años atrás (hubo inundaciones en Sevilla (AU-2, AU-3) en la primavera y diciembre de 1603), o bien de que era práctica habitual en la administración de la ciudad organizar este comercio a finales del otoño y comienzos del invierno, precisamente es en el mes de Noviembre cuando se produce uno de los máximos anuales de precipitación en la ciudad de Granada (Bosque Maurel, 1957). Esta última situación parece la más probable. ¿Fue el año 1614, entonces, un año excepcional, o, por el contrario, estamos ante un cambio en las disposiciones municipales obligado por motivos burocráticos o, en todo caso, no-climáticos?

En diciembre de 1617 las lluvias se prolongaron durante más de quince días en Granada (AU-1, AU-2), lo cual llevaría seguramente la consecuencia de que en Sierra Nevada estas precipitaciones fueran en forma de nieve. La organización de la venta de la nieve se realiza el 30 de Diciembre, esto es, prácticamente en el mismo momento que el año 1614, caracterizado por su ausencia de fenómenos meteorológicos de importancia. Las informaciones cualitativas nos facilitan criterios para la comparación, y del contraste entre dos años de características diferentes se infiere que razones de tipo no-climático, en principio, movieron a dictar las disposiciones relacionadas con el comercio de la nieve en momentos diferentes. Lo que sí es seguro es que en el año 1618, que, como veremos, puede catalogarse de lluvioso, las referencias al comercio de la nieve son mayores que en el año 1614 (10 fente a 6). En el mes de Abril de 1618 se solicita al encargado del abasto de la nieve que proporcione más fiadores o avales para su negocio, en el mes de Mayo se impone el precio de 1 maravedí por libra, un precio barato en comparación con otras zonas del país (Capel Sáez, 1971), lo cual se debe a la proximidad de la sierra y el consiguiente abaratamiento de los costes de transporte, y los asuntos del comercio de la nieve se tratarían tan tarde como el 24 de julio, ya en pleno verano.

Independientemente de estas especulaciones sobre el aspecto de un año u otro, hay algo relevante a destacar: el hecho de que en los Libros del Cabildo consultados correspondientes al siglo XVI no se hace ninguna referencia a este comercio y en las primeras décadas del siglo XVII es una actividad normal para el Cabildo Municipal. Como hemos visto, el consumo de la nieve se popularizó en la segunda mitad del siglo XVI, y de este siglo, el último Libro del Cabildo que subsiste corresponde al año 1566. En principio, por tanto, podrían alegarse razones no-climáticas para esta diferencia. Sin embargo, dado que el consumo de este producto ya se había popularizado entre los árabes y que permaneció en Granada una importante población morisca tras su conquista por los Reyes Católicos (Domínguez Ortiz, 1988), persiste la duda.

De la información precedente queda claro que el comercio de la nieve era una actividad habitual en el siglo XVII, con un aumento de los beneficios, y por tanto del consumo, y por consiguiente de la "recolección", a lo largo de la segunda década del siglo. La posibilidad de un aumento de la demanda debido a factores demográficos queda eliminada teniendo en cuenta el estancamiento y regresión constatado en los niveles de población desde finales del siglo XVI (Domínguez Ortiz, 1988). El fenómeno climático que subyace a esta discusión es la posibilidad de una mayor frecuencia, respecto al presente, de las precipitaciones en forma de nieve en Andalucía, y en particular en la Sierra de las Nieves y Sierra Nevada, durante la Edad Moderna. Debemos, por tanto, buscar en informaciones de tipo cualitativo cualquier información relativa a la presencia de la nieve y analizar los mecanismos causantes de las nevadas.

Las referencias de Jorquera a las nieves perpetuas de Sierra Nevada aparecen cuando se refiere a la permanencia de la nieve en la Sierra incluso en verano (AU-1, 1ª Parte, Cap. XXI), y cuando describe los ríos Genil y Dílar (Capítulo IX) o el pueblo de Monachil (Capítulo XXVII). Igualmente, Pedraza (HR-2) se refiere a la persistencia de la nieve incluso en épocas de sequía. A finales del siglo XVII, Alonso de Torres (HR-3) se refiere a Sierra Nevada en similares términos. A partir de estas noticias es difícil precisar si nos encontramos ante un mito local que se reprodujo sucesivamente en cada uno de los textos (Torres cita previamente a Pedraza en su obra), o si por el contrario estas referencias resultan de interés paleoclimático.

No son extrañas las nevadas en Sierra Nevada en épocas tan tardías como comienzos del mes de Mayo. De hecho, en el año 1993, las pistas de esquí se mantuvieron abiertas una semana después del cierre oficial de la estación a finales de Abril, tras las nevadas caídas el 1 de Mayo (IDEAL, 2 de Mayo de 1993). Estas nevadas coincidieron con unos días de fuertes lluvias en toda Andalucía. Los mecanismos de precipitación típicos en Sierra Nevada, durante el invierno y la primavera son los denominados "tipos ciclónicos atlánticos" (Castillo Requena, 1981) procedentes del norte, el noroeste y el oeste. Estos tipos de tiempo originan las típicas precipitaciones continuas del invierno en la región. Las precipitaciones en Sierra Nevada se reparten desde el mes de Octubre al de Mayo, caracterizándose el verano por una prolongada sequía. El total pluviométrico puede calibrarse por encima de los 800 mm y es el factor altitud el que hace que en invierno parte de la precipitación se transforme en nieve, fenómeno perceptible desde Octubre a Mayo por encima de los 1500 m (Gómez Ortiz, 1980).

Como conclusión, podemos decir que la escasa información recogida nos permite al menos establecer la hipótesis de unos niveles de precipitación e innivación en alta montaña superiores a los actuales. La tendencia creciente del comercio de la nieve en Sierra de las Nieves (Málaga) durante el periodo 1610-1620, el establecimiento de un comercio habitual de este producto en Granada desde, al menos, comienzos del siglo XVII, y las apreciaciones de testigos de vista sobre nieves continuas en la sierra durante el verano, avalan esta hipótesis. Sin embargo, no deja de ser una hipótesis de trabajo que necesita una ulterior comprobación. El análisis del comercio de la nieve en la época de estudio, y hasta finales del siglo XIX, presenta, en cualquier caso, un potencial interés para los estudios paleoclimáticos.

3.3. Plagas de langosta.

Las plagas de langosta están estrechamente conectadas con factores climáticos. Las condiciones ideales para la incubación de los huevos, supervivencia de los individuos, paso de la fase solitaria a la gregaria y transporte desde las regiones de origen, están determinadas por factores ecológicos (Camuffo y Enzi, 1989). Como las nubes de langosta son transportadas por el viento, es posible conocer las regiones de las que proceden, su marcha, extensión, periodos en los que aparecen más frecuentemente, impacto social y condiciones meteorológicas que causaron su muerte. Así, por ejemplo, los registros de plagas de langosta en Europa pueden ser informativos de la incidencia de vientos del Sur y del Este (Lamb, 1977), y puede atribuirse a un cambio en el tiempo, como una caída brusca de la temperatura o el transporte por el viento a áreas más frías, la muerte en masa de las nubes de langosta (Camuffo y Enzi, 1991).

La langosta bíblica pertenece a la especie "*Scistocerca gregaria*", mientras que la marroquí, "*Dociostaurus marrocanus*" es capaz de alcanzar Chipre, Sicilia y Provenza, y varios tipos de "*Locusta migratoria*" pueden alcanzar Europa occidental desde el Este. Rusia, Hungría, Suiza y Francia son zonas donde la "*Locusta migratoria rossica*" y la "*migratoria gallica*" depositan sus huevos, que luego darán lugar a sucesivas oleadas. Hay también especies europeas autóctonas, tales como la "*Calliptamus italicus*", que tienen una fase gregaria (Camuffo y Enzi, 1991).

La langosta que principalmente se observa en España es la "*Dociostaurus marrocanus*", que se presenta también en el Norte de Africa y en los países del entorno mediterráneo (Barceló, 1979; Mackay, 1981). Al llegar la primavera se desarrollan los huevos dando nacimiento a las larvas. Los fríos intensos del invierno no impiden el desarrollo, sino que únicamente lo retrasan algo. Las condiciones favorables para su desarrollo consisten en temperaturas oscilando entre los -5°C durante el invierno hasta al menos 23°C en el mes de Julio, y lluvias primaverales después de un largo periodo de sequía primaveral (Barceló, 1979). En la época de estudio, además, la plaga de langosta era frecuente dada la abundancia de terrenos sin cultivar, en los que podía desarrollarse el insecto (Domínguez Ortiz, 1988).

La incidencia de la plaga de langosta y su impacto en las cosechas puede apreciarse en las respuestas de varias villas a la pregunta en torno a las fiestas locales, causas y comienzo de ellas, de la encuesta organizada en 1575 por Felipe II para el conocimiento estadístico del reino (A-4). Así, por ejemplo, la villa de Alhambra celebraba la festividad de San Pedro como medida preventiva antes los efectos de la plaga. La plaga era vista, a semejanza de las plagas bíblicas, como un castigo divino, de ahí la organización de procesiones, rogativas y fiestas patronales. Torres (HR-3), refiriéndose a la plaga que afectó a Baza hacia el año 1600, nos da un ejemplo de la organización de procesiones y rogativas como práctica común en los pueblos de Andalucía contra la presencia de la plaga.

Las condiciones favorables a la aparición de la plaga debían ser conocidas, al menos desde un punto de vista empírico, como demuestra la afirmación de Zúñiga (AU-3) respecto al año 1546, al que caracteriza como propicio al desarrollo de la plaga. Su descripción se repite en términos muy similares en los distintos textos, con escasa atención a los detalles y más interés por sus efectos destructivos. La forma de combatirla era muy rudimentaria (se trataba de "recoger" cuantos más ejemplares mejor) y, como hemos visto, se combinaba con la celebración de actos religiosos.

En la Tabla III.3.1 se recogen los sucesos de plaga de langosta registrados en Andalucía, indicando el año del suceso, el mes de aparición de la plaga, si se conoce, el lugar donde se registra y las fuentes de las que hemos obtenido la información. En la columna LUGAR, cuando no se especifica nada, se entiende que la aparición de la plaga se produjo en toda la región, o que los autores no especificaron el lugar con más detalle. Cuando se indica Prov. se hace referencia a la actual provincia andaluza, pues son varios los pueblos de los que se tiene noticia de la plaga.

En cuanto a las fuentes, como se indica en el Apéndice I, la fuente HR-3 es de dudosa fiabilidad, como se aprecia en los años 1600 y 1633. Estas plagas están fechadas de manera ambigua, aunque la peste del año 1600 pudiera estar relacionada con la muerte y putrefacción de la plaga. La fuente C-1 es la compilación de Fontana Tarrats, de la que sólo hemos considerado aquellas noticias que extrae de fuentes fiables, como archivos y libros de Cabildo locales.

Hay otras noticias sobre plaga de langosta en otras partes de España, no mostradas en la Tabla III.3.1. De éstas, las más interesantes son las de los años coincidentes con la presencia de la plaga en Andalucía, lo cual puede dar una idea de su magnitud y extensión. Así, por ejemplo, se detecta también la langosta en Extremadura en 1546, Levante en 1547, Meseta y Levante en 1548, Meseta en 1550, 1551 y 1671, y en Levante y Cataluña en 1687 (C-2). La plaga de 1542 afectó también a Alemania e Italia (HG-2) y la de 1543 afectó a Extremadura e Italia (HG-3). De esta última, tenemos alguna indicación sobre el origen y recorrido de la misma, que partió de las actuales Bosnia y Dalmacia, llegando a Italia y España (HG-3).

En todos los casos en que conocemos el mes de aparición de la plaga, excepto uno (Agosto de 1407), se trata de los meses de abril y/o mayo, es decir, la presencia de la plaga se produjo en la primavera. En el año 1672 se citan también los meses del invierno previo, aunque bien pudiera ser consecuencia de la presencia de la plaga el año 71. Se observan en la tabla grupos de años consecutivos con presencia de la plaga, en concreto, los años 1508-10, 1542-43, 1546-48, 1550-53, 1618-19 y 1670-72. Posiblemente se trataría de la misma plaga, no eliminada tras su aparición primaveral.

En total, tenemos 32 años con presencia de la plaga en Andalucía. Para analizar su vinculación con factores meteorológicos dividimos estas noticias en tres categorías:

Clase A: Plagas coincidentes con sequías.

Clase B: Plagas coincidentes con lluvias intensas tras periodos de sequía.

Clase C: Plagas coincidentes con lluvias intensas.

En la Tabla III.3.2 se especifican los años correspondientes a cada categoría. Esbozar una conclusión acerca del clima a partir de las informaciones de plaga de langosta no es fácil. Como vemos, a partir de la Tabla III.3.2, donde se reflejan aquellos años cuyas características climáticas podemos delimitar con independencia de las informaciones sobre la langosta, en un alto número de casos la plaga está asociada con fenómenos de sequía, o bien con sequía seguida de fuertes lluvias. La coincidencia con situaciones de intensas precipitaciones se da en un número de casos menor.

TABLA III.3.1.- Noticias de plaga de langosta registradas en Andalucía durante el periodo en estudio (Siglos XV al XVIII).

AÑO	MES	LUGAR	FUENTE
1407	Agosto		C-2
1449	Abril	Ubeda	C-2
1508		Sevilla	C-1, C-2
1509	Mayo	Sevilla	C-1, AU-3
1510		Sevilla	AU-3
1542			HG-2, HG-3
1543			HG-2, HG-3
1546		Córdoba Sevilla	AU-3, A-4 C-1, C-2
1547	Marzo, Abril?	Sevilla	AU-3, HG-3
1548		Sevilla	AU-3, A-4
1550		Córdoba	C-1, C-2
1551		Prov. Córdoba	C-1, C-2
1552		Prov. Córdoba	C-1, C-2
1553		Prov. Cádiz	C-1
1582	Abril-Mayo	Loja, Córdoba Arcos	A-1, C-1
1584	Abril	Loja, Córdoba	A-1, C-1
1586	Mayo	Prov. Jaen	C-1, C-2
1591	Abril	Guadix, Fiñana Abla	C-1, C-2
1600?		Baza	HR-3
1605		Jerez	C-1
1618	Mayo	Granada Córdoba	A-2, C-2
1619		Córdoba	C-1
1621		Prov. Córdoba	C-1
1633?		Prov. Granada	HR-3
1670		Ubeda	HR-3
1671	Mayo	Loja, Granada	C-1, C-2
1672	Enero-Mayo	Loja	C-1, C-2
1687	Abril	Sevilla, Jerez	AU-3, C-1, C-2
1707	Abril	Vélez-Málaga	A-3
1709	Abril	Vélez-Málaga	A-3
1721	Mayo	Vélez-Málaga	A-3
1756		Málaga	A-3

En Italia, las invasiones eran frecuentes en los meses de verano, en Agosto preferentemente, asociadas a condiciones de sequía (Camuffo y Enzi, 1991), al igual que en Andalucía, según nuestros datos, con la única diferencia de que aquí la invasión ocurría preferentemente en los meses de primavera, coincidiendo con una sequía, o bien al término de la misma.

TABLA III.3.2.- Factores climatológicos asociados con la aparición de las plagas de langosta.

Categoría	Años de aparición
Clase A (Sequías)	1542,1546,1548,1584,1586,1591, 1600,1605,1621,1687
Clase B (Sequía + Lluvias)	1407, 1508, 1543,1582,1618
Clase C (Lluvias)	1510,1633,1670,1671,1709

En el caso de un invierno suave, las langostas pueden subsistir, yendo a un estado de letargo, y por tanto pueden continuar su trabajo destructivo al año siguiente. Los huevos pueden permanecer aletargados para incubar en la primavera. En consecuencia, podemos considerar los inviernos de los años consecutivos con presencia de la plaga como inviernos suaves (Camuffo y Enzi, 1991). Esto nos permite inferir que, desde un punto de vista térmico, fueron suaves o no muy fríos, con mínimas por encima de los -5°C (Barceló, 1989), los inviernos (identificados por el año al que pertenece el mes de Enero) de los años 1509, 1510, 1543, 1547, 1548, 1551, 1552, 1553, 1619, 1671 y 1672. Según esto, los periodos de aparición de la plaga coincidirían con épocas cálidas, y los periodos de no aparición con épocas más frías, que impedirían el desarrollo de la langosta. Según Le Roy Ladurie (1983) el Pequeño Optimo Medieval se caracterizó por frecuentes invasiones de la langosta en toda Europa, desde Alemania a España, y hasta Hungría y Austria. Tras la plaga de los años 1508-1510, en Enero de 1511 se detecta una ola de frío generalizada en Andalucía (C-2). El periodo 1554-1581, caracterizado por la ausencia de noticias sobre la langosta, registra noticias sobre inundaciones en la Cuenca del Guadalquivir en Diciembre de 1554 y Enero de 1555 (AU-3, R-4), o nevadas en los inviernos de 1568 y 1569 (HR-2, HC-3). Tras la plaga de 1586, se presenta el año frío de 1587 (C-2). En el siglo XVII tenemos ejemplos en el periodo 1634-1669, en el que no hay noticias de langosta, pero sí informaciones sobre frío

y cierzo en Sevilla en Marzo de 1650 (AU-2) y de heladas en Sevilla en Diciembre de 1657 (AU-3).

No se encuentran en las fuentes excesivos detalles sobre las causas que originaron el final de la plaga salvo una referencia de A. de Torres (HR-3), que nos habla de la plaga de 1633, indicando cómo parte de la plaga se ahogó en el río y otra parte fue eliminada por bandadas de aves. Las posibles causas meteorológicas de la muerte en masa o el término de la plaga (irrupción de olas de frío, transporte por el viento hacia regiones más frías) están, pues, sujetas a especulación, y no es posible inferirlas de la información de que disponemos.

Un periodo caracterizado por un gran número de invasiones, no obstante, no necesariamente implica un periodo cálido, sino más bien una inusual frecuencia de los vientos responsables de su transporte (Lamb, 1977). La frecuencia de la plaga de langosta en Andalucía y en España puede ser indicativa de la importancia que tuvieron los vientos meridionales, dado el origen norteafricano de la langosta detectada en España (Font Tullot, 1988). La discusión se complica si tenemos en cuenta que las circulaciones atmosféricas responsables del transporte no son necesariamente la única explicación de la aparición de las plagas (Camuffo y Enzi, 1991). La migración pudo haber ocurrido en ciertas ocasiones desde la zona subtropical de origen hasta las áreas de recepción inmediatas (como Andalucía, por ejemplo), donde habría sido posible a lo largo de años sucesivos la reproducción y el paso a la fase gregaria, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas locales de estos lugares. En la Tabla III.3.3 se ofrece el número de años o grupos de años consecutivos con aparición de la plaga en cada siglo (se considera al año 1600 como perteneciente al siglo XVI). Se muestra, además, una comparación con lo ocurrido en otras regiones geográficas.

La interpretación de Font Tullot puede considerarse válida teniendo en cuenta una escala temporal más amplia que el año. Si interpretamos la aparición de la plaga en años sucesivos como consecuencia de un invierno suave en el área de recepción, que no eliminó la plaga y mantuvo los huevos en estado de letargo, las noticias correspondientes a estos años no informan sobre los vientos predominantes, sino sobre las condiciones locales en la región. La aparición de diferentes años o grupos de años aislados sí que puede informar sobre las características de la circulación atmosférica.

TABLA III.3.3.- Número de sucesos por siglo (años aislados o grupos de años consecutivos) con plaga de langosta y comparación con otras zonas.

Lugar	Fuente	S.XV	S.XVI	S.XVII	S.XVIII
Andal.		2	9	6	4
Europa Central	Lamb (1977)	0	6	1	4
Italia	Camuffo Enzi(91)	4	8	7	0

En conclusión, podemos extraer la siguiente información de las noticias de plaga de langosta:

- Suelen coincidir con situaciones de sequía primaveral, o bien con primaveras lluviosas que dan por terminado un periodo de sequía (Tabla III.3.2).

- Cuando se producen en años consecutivos informan de inviernos suaves que favorecen la supervivencia de los huevos en estado de letargo y la reaparición de la plaga la siguiente primavera. En general coinciden con periodos cálidos, estando marcados los periodos con ausencia de la plaga por la aparición de olas de frío.

- A escala temporal de un siglo, la frecuencia de sucesos de plaga de langosta nos informa de la mayor o menor presencia de vientos meridionales o de circulaciones del Este no zonales. La Tabla III.3.3 nos informa de una mayor presencia, comparando entre siglos, de la circulación meridional en Andalucía durante el siglo XVI, seguido en orden descendente por el siglo XVII y el XVIII, con escasa presencia de estos vientos en el XV. Esta situación también se observa en Italia (Camuffo y Enzi, 1991), y, con alguna ligera discrepancia, en Europa Central (Lamb, 1977).

3.4. Producción agrícola.

3.4.1. Introducción.

El clima proporciona o niega ciertas condiciones necesarias para la vida de todos los componentes del mundo vivo, y controla aspectos básicos del entorno físico. Prueba de ello son los datos fósiles de regímenes climáticos del pasado existentes en todas partes y en una gran variedad de formas (Lamb, 1981). Se acepta generalmente que las variaciones a corto plazo (intra-anual, anual e inter-anual) en el clima, que tienen un efecto inmediato sobre las cosechas y otras actividades económicas, son relevantes en las fluctuaciones económicas a corto plazo (Ingram et al., 1981b). En escala intradecenal, decenal, y, en ciertos casos, interdecenal, la historia agrícola es vulnerable a los fenómenos meteorológicos, factores de malas cosechas y, antaño, de crisis de subsistencia (Le Roy Ladurie, 1983).

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que las fluctuaciones de un año a otro en el output agrícola están principalmente controladas por los fenómenos meteorológicos, aunque las consecuencias de esto para las sociedades pre-industriales sean controvertidas (Pfister, 1981). Aunque la oscilación climática sea corta, puede influir profundamente en la agricultura, sobre todo cuando un cultivo se realiza cerca de su límite ecológico. Alteraciones de la temperatura media de 1°C tienen ya importancia, pues son indicio de que el invierno es bastante frío, o, por el contrario, demasiado cálido para la supervivencia de los cultivos (López Gómez, 1972). De la temperatura, y más aún de la humedad, del reparto de las lluvias en el curso de las estaciones, dependen la resistencia mayor o menor de los bosques, el comportamiento de los suelos y el éxito o el fracaso del hombre cuando se esfuerza por extender el espacio cultivado (Duby, 1973). En consecuencia, el análisis de las fluctuaciones agrícolas en la época de estudio presenta un potencial interés paleoclimático, en la medida en que proporcione información sobre el impacto de los fenómenos meteorológicos en la agricultura de la época.

La base económica del Viejo Mundo ha sido hasta hace un par de siglos el sector primario: agricultura, ganadería, recolección, actividades extractivas y pesca. Hasta el siglo XIX, más de un 90% de la población europea vivía y trabajaba en el medio rural, y hasta

el proceso industrializador éste constituía la mayor fuente de riquezas (García Martín, 1985). El grano era el producto básico en la agricultura del Antiguo Régimen, (Le Roy Ladurie, 1983), de hecho, el pan constituía el elemento principal de la dieta alimenticia (Mitre et al., 1985). La influencia de los factores meteorológicos en la coyuntura agrícola era entonces mayor que hoy en día, pues eran menores los recursos de la técnica, más reducida el área de regadío y menos diversificados los cultivos. Los cereales constituían el cultivo más extendido, y, por tanto, el más sensible a las fluctuaciones climáticas (Domínguez Ortiz, 1988). Las inclemencias meteorológicas se configuraron como el primer eslabón de una cadena, en la cual seguían todo tipo de conmociones que afectaban profundamente a las estructuras sociales y económicas, traduciéndose en muchos casos en profundas crisis demográficas (Mitre et al., 1985). La máxima de la vida cotidiana del campesino era la lucha por el pan, entendido como instrumento simbólico y real de la existencia misma (García Martín, 1985).

Al margen de grandes oscilaciones climáticas, hay toda una serie de anomalías meteorológicas y fenómenos atmosféricos que, vía destrucción de cosechas, acaban conduciendo a carestías y hambrunas. Ahora bien, la simple información sobre una mala cosecha no es por sí misma una información directa sobre el clima. La cosecha deficitaria puede indicar la extrema sequedad y el escaldamiento, o bien el verano excesivo o un invierno demasiado húmedo, o el hielo que mata las simientes o la extrema suavidad invernal que las destruye en el suelo (Le Roy Ladurie, 1983). Aunque los extremos influidos climatológicamente en el registro de cosechas son fáciles de detectar, el descubrimiento de las condiciones precisas del tiempo que determinan estas fluctuaciones presenta un problema más difícil (Mackay, 1981).

Con el fin de detectar apropiadamente el efecto del clima en la economía agrícola de la época, es preciso desarrollar un modelo de respuesta para cada cultivo (Pfister, 1981). Para ello hay que partir de una relación no lineal entre el desarrollo de las plantas y las condiciones ambientales: la planta es capaz de asimilar dentro de determinados límites variaciones mínimas sin sufrir pérdidas importantes en su rendimiento; por el contrario, alteraciones más acusadas pueden tener consecuencias considerables (Pfister, 1989). El clima, además, no es la única variable que afecta a la producción agrícola. También lo hacen

variaciones en la extensión del terreno cultivable y el nivel de siembra, fertilizantes, tecnología, efectos de plagas y actividades humanas no agrícolas, como las guerras.

En cualquier estudio sobre los efectos del clima en la agricultura es necesario establecer con precisión en qué aspectos los cultivos son más sensibles al clima. Esto sólo es posible mediante referencias al presente (Ingram et al., 1981b). A la hora de establecer un modelo de causalidad que especifique la naturaleza de las relaciones entre clima y agricultura, la mejor estrategia, según Ingram et al. (1981b) consiste en investigar una o pocas variables económicas y sociales (lo cual resulta más realista que intentar atacar situaciones más complejas) modelando los efectos inmediatos del clima para un área pequeña e investigando las fluctuaciones climáticas de corto periodo. Se evitan así generalizaciones excesivas, como por ejemplo, la que atribuye la crisis de los siglos XVI y XVII en España a un incremento de las condiciones de aridez (Vicens Vives, 1959), puesta en duda por Lamb (1977), quien la atribuye a la fuerte variabilidad climática de la época.

Siguiendo las líneas anteriores, dedicamos este epígrafe a un tipo de cultivo, el cereal, dada su importancia en la agricultura de la época. La investigación se centra en los efectos inmediatos (productividad agrícola), y sus consecuencias (referencias a escasez, carestía, hambre y epidemias). El estudio se dedica a áreas localizadas (Sevilla, Loja y Granada) haciendo hincapié en las fluctuaciones de corto plazo. Los datos cuantitativos para estimar los años de buenas o malas cosechas se combinan allí donde es posible con los datos cualitativos y las informaciones descriptivas sobre los fenómenos meteorológicos para encontrar la explicación de las fluctuaciones agrícolas (Mackay, 1981).

3.4.2. Datos cualitativos.

En lo que atañe a las fuentes para el estudio de la producción agrícola durante el Antiguo Régimen, hoy día está fuera de discusión la utilidad de las cifras de diezmos, soporte, seguramente, del mejor método disponible para aproximarse a las fluctuaciones agrícolas (Sebastián Amarilla, 1991). El diezmo era un impuesto ejercido sobre la producción agrícola, correspondiente en la mayoría de los casos a la décima parte de la cosecha (Vincent, 1985). Al representar un porcentaje fijo de las cosechas obtenidas, constituyen un

barómetro ideal de las oscilaciones de la producción, el mejor índice para analizar las fluctuaciones de las cosechas, y por tanto, las fluctuaciones climáticas que las provocaron (Anés Alvarez, 1970; Anés Alvarez et al., 1979).

Antes de entrar a analizar las series de diezmos de que disponemos (A-5) con el objeto de dilucidar aquellas fluctuaciones provocadas por fenómenos meteorológicos, es preciso elaborar un modelo conceptual de las relaciones entre clima y agricultura en la época de estudio. Para ello resultará útil el análisis preliminar de las informaciones cualitativas encontradas en las fuentes sobre la calidad de las cosechas, y las noticias sobre escasez y carestía. Nos interesa analizar ahora cómo se percibía el resultado de las cosechas, y las causas de un resultado u otro.

Algunos autores reconocen la bondad de las cosechas por los rendimientos obtenidos, Rodrigo Caro (HC-2) presenta un ejemplo en este sentido en su referencia a la cosecha de 1601 en Utrera. Otros autores destacan la influencia directa en el régimen de precios del mercado. Así, por ejemplo, Espinosa (AU-3) se refiere a la buena cosecha de trigo en 1690, destacando el bajo precio alcanzado por el pan.

Esto es, normalmente, los autores hablan de "buenas" cosechas, o de años "buenos", y posteriormente justifican el calificativo o bien hablando de "abundancia" y "prosperidad", o bien de los bajos precios del mercado. En los años de buena cosecha, el grano circulaba con relativa fluidez por los cauces habituales del comercio. Aumentaba la oferta y disminuía la demanda en el mercado debido al autoabastecimiento de los pequeños productores (Castro, 1987). Esto llevaba a precios inferiores en el mercado, lo cual perjudicaba al productor, en beneficio del consumidor. Si el productor no tenía capacidad económica para guardar y conservar sus granos en espera de épocas peores, el descenso de los precios podía provocar su ruina (Domínguez Ortiz, 1988). Vemos, pues, cómo los años de buenas cosechas podían provocar, debido a la organización existente del mercado y la propiedad agraria, condiciones susceptibles de agravarse en años posteriores.

La descripción de las cosechas como "intermedias", "moderadas" o "regulares" es más complicada, en cuanto a que aquí juega un papel importante la apreciación subjetiva del

autor. El autor que más discrimina en este sentido es Jorquera (AU-1), quien habla de cosechas de cereal "mediadas" en 1613, o "muy moderadas" en 1617, o bien se refiere a que, tras un periodo de sequía invernal, las lluvias de primavera en 1628 "mejoraron los trigos". Otras veces, las buenas expectativas quedan rotas tras un suceso de última hora, como ocurrió en Loja en 1597, en que, tras un año agrícola bueno, una tormenta el 16 de Mayo mermó la producción, obligando a las autoridades a tomar medidas para evitar la venta de pan fuera de la ciudad (A-1).

Las descripciones sobre malas cosechas son más numerosas, debido no sólo a la importancia del abastecimiento y la fragilidad del sistema agrícola en la época, sino también al matiz religioso que impregnaba todos los aspectos de la vida, y que hacía percibir los años de buenas cosechas como premios y los años malos como castigos de la divinidad. Los autores eran capaces de percibir las causas meteorológicas y las consecuencias socioeconómicas de una mala cosecha. Así, Bernáldez en sus "Memorias" (C-1), se refiere a la sequía de 1506 como causante de la falta de pastos y la muerte del ganado. Otras veces, no es una sequía, sino una sucesión de lluvias intensas y continuadas la causante de la mala cosecha. Así nos lo describe Miñana (HG-3), cuando se refiere a la mala cosecha de 1545 en España, y a la subsiguiente carestía del pan.

Concepción de Castro (1987) nos ofrece una buena descripción de la repercusión de una mala cosecha: las malas cosechas (en muchos textos identificadas por el vocablo "esterilidad") reducen, o anulan, la oferta de grano en las plazas públicas. Surge entonces el afán acumulador, ya sea para garantizar el propio consumo o para la especulación, aparece la "escasez", y el precio del grano sube por encima de los límites fijados. Esto es lo que podemos denominar "carestía". El encarecimiento de la oferta da lugar a la intensificación del control público y a la intervención del mercado por parte del poder. Se realizan entonces intentos de importación de trigo, ya sea de áreas cerealistas en la península, o fuera de ella. Otras medidas consisten, como ya hemos comentado, en la prohibición de sacar fuera de los límites de la ciudad el poco trigo que se conserva. El remedio no siempre llega a tiempo, con lo que se produce una situación de hambre, y, como consecuencia de la desnutrición, la propagación de epidemias. Estas, además, mermarán la mano de obra disponible para el año siguiente, con lo que la crisis podrá prolongarse aún más tiempo. Además, la falta de grano

resultado de una mala cosecha, impedirá el siguiente año, aunque meteorológicamente bueno, que se siembre todo lo necesario, con lo cual la crisis se prolongará aún dos o tres años. Un buen ejemplo de este proceso nos lo ofrece Ortiz de Zúñiga, refiriéndose al año 1557 en Sevilla (AU-3).

En las Tablas III.4.1. a-d se resumen las noticias encontradas en las diversas fuentes utilizadas para este estudio sobre calidad de las cosechas de cereal. En cada tabla, correspondiente a un siglo desde el XV hasta mediados del XVIII, se especifica el año, el lugar donde se sitúa la información, el tipo de cosecha (B=buena; I=intermedia; M=mala), los fenómenos meteorológicos descritos, correspondientes al periodo vegetativo del cereal, es decir, desde la sementera en el otoño del año anterior hasta la siega a comienzos del verano (S=sequía; P=lluvias; I=inundaciones; H=heladas/olas de frío; G=granizo; V=vientos; T=tormentas), así como informaciones de tipo social (E=escasez; C=carestía; H=hambre; Im=importaciones de trigo; Ex=exportaciones de trigo; R=rogativas y procesiones; L=plagas de langosta; Ep=epidemias; G=guerras) y las fuentes utilizadas, identificadas con el código asignado en el Apéndice I (C-3 es el trabajo de Luna Díaz, 1979). El interrogante tras alguna de las claves significa escasa precisión en las fuentes o dificultad de interpretación, ya sea sobre el carácter de las cosechas, o sobre el fenómeno meteorológico de que se trate.

En la Tabla III.4.1.a se recogen las noticias referentes al siglo XV. De los 15 años en que hemos encontrado información, 5 corresponden a buenas cosechas, 3 a cosechas intermedias y 7 a malas cosechas. La mayoría son generalizaciones que se refieren a Andalucía Occidental. Merecen destacarse las buenas cosechas detectadas en la última década del siglo, la mayoría relacionadas con informaciones de precipitaciones. En el año 1490 son varias las fuentes que informan de condiciones frías, en particular las nevadas que afectaron a gran parte de Andalucía, y, de forma especial en los años 89 y 90, a las depresiones de Guadix y Baza, donde entonces se desarrollaba la Guerra de Granada.

La Tabla III.4.1.b resume la información encontrada sobre las cosechas del siglo XVI. De 49 años con información cualitativa, 21 se refieren a buenas cosechas, 3 a cosechas intermedias y 25 a malas cosechas. La mayoría de las noticias se localizan en la ciudad de

Loja (fuente A-1), a orillas del río Genil, en la actual provincia de Granada. Entre los años que merecen destacarse, por su extensión e implicación de otras ciudades de Andalucía, con lo cual podemos decir que el fenómeno tuvo cobertura regional, destacan los años de 1506, 1521, 1545, 1557, 1589, 1590 y 1599. Los años 1506, 1521, 1589 y 1599 están relacionados con situaciones de sequía, mientras que 1545 y 1590 se relacionan con situaciones de intensas precipitaciones e inundaciones en las ciudades de Sevilla, Loja y Granada.

TABLA III.4.1.a.- Calidad de las cosechas, siglo XV.

AÑO	LUGAR	COSECHA	MET.	SOC.	FUENTE
1400	Sevilla	M	P	H,Ep	AU-3
1435	And.Oc.	M	P		AU-3 AU-4 C-1 C-2 C-3
1441	Sevilla	M			AU-3
1454	Sevilla	B			AU-3
1477	España	M		C,H	HG-1
1486	And.Occ.	M	P,I		AU-3 C-1 C-3
1487	And.Occ.	I	P		HG-1 HG-2 AU-1 C-3
1488	And.Occ.	B			C-2 C-3
1489	Baza	M	P	G	HG-1 AU-1
1490	And.Occ.	I	P,H		AU-1 HG-2 A-1 C-3
1491	And.Occ.	I	P		C-3 A-1
1494	And.Occ.	B			C-3
1495	Sevilla	B	P		C-3 R-1
1497	And.Occ.	B	P?		C-3 AU-1
1498	And.Occ.	M			C-3

TABLA III.4.1.b. Calidad de las cosechas, Siglo XVI.

AÑO	LUGAR	COSECHA	MET.	SOC.	FUENTES
1501	Granada	M			C-3,HR-3
1502	Granada	B		H	C-3
1503	Granada Sevilla	M	T?,V?	E,H E,H	C-3 AU-3
1505	Loja	B	P,I	E	A-1
1506	Granada Sevilla Loja Castilla	M M M M	S S S S	C Im	C-3,C-1 AU-3 A-1 HG-2
1507	Granada	M	S		C-3
1508	Granada Sevilla	B	P	L	C-3 AU-3,C-1 C-2
1509	Granada Sevilla	B	P	L	C-3,AU-3 C-1,C-2
1514	Sevilla	M	S?		AU-3
1520	Sevilla	M	S	E,C	AU-3
1521	Granada Sevilla Loja S.Morena	M M M M	S S S S	H E,C,Im C H	C-3,A-2 AU-3,HC2 A-1 HR-3
1522	Sevilla Loja	B B	P P	C	AU3,HC2 A-1
1529	Loja	M		E,C	A-1
1540	Loja Sevilla Madrid	M	S	R H	A-1 AU-3 AU-4
1545	Loja Andal.Es	M	P,I	E,C C	A-1 HG-3,A-4 AU-3
1547	Loja Sevilla	B		L	A-1 AU-3,HG3
1548	Loja	I?	S	E,C	A-1
1555	Loja	M	I		A-1
1556	Granada Loja	M		E C	A-2 A-1
1557	Sevilla Loja	M M		Im E,C	AU-3 A-1

Tabla III.4.1.b (Continuación)

1558	Loja Utrera	I M			A-1 HC-2
1560	Loja	B			A-1
1561	Loja Sevilla Levante	M M	S S	C C E,C	A-1 AU-3 R-2
1562	Zenete Loja Sevilla	M	V P P,V	C C	R-2 A-1 AU-3
1564	Loja	B	P		A-1
1565	Loja	B?	P		A-1
1567	Loja Sevilla	M M	S S	C	A-1 AU-3
1572	Loja	B	P		A-1
1573	Loja	B			A-1
1574	Loja	B			A-1
1575	Loja Utrera	B	P		A-1
1576	Loja	M		Im	A-1
1579	Loja	B	P		A-1
1581	Loja	M		E,C,H	A-1
1582	Loja Granada Sevilla Cádiz	B?		E,C,H,L E Ep Ep	A-1 HR-2 AU-3 HC-1
1584	Loja Granada Madrid	M		E,C,L,Im E E	A-1 HR-2 HC-4
1585	Loja	B			A-1
1586	Loja Ubeda Madrid	B	P H H	Ep	A-1 HR-3 HG-2
1587	Loja Cádiz	B	P? V		A-1 HC-1
1588	Loja	B			A-1
1589	Loja Sevilla Granada	M M	S S S	E,C R	A-1 AU-3 AU-1

Tabla III.4.1.b (Continuación)

1590	Loja Granada Sevilla Cádiz Córdoba Castilla	M M	P,I P,I I G	E,C H Im C,Ep	A-1 AU-1 AU-1,AU3 HC-1 HR-3 HG-3
1591	Loja	M	P,I		A-1
1592	Loja Sevilla	M	P,V,S P,V	E	A-1 AU-3
1595	Loja	B			A-1
1596	Loja Cádiz Sevilla	B	P V I		A-1 HC-1 HG2,HG3 AU-3
1597	Loja	I	T		A-1
1598	Loja Andaluc. Madrid	M	S? P	E,C Ep	A-1 HG-3 AU-4
1599	Loja Sevilla	M M	S	E,C E,Ep	A-1 AU-3

La Tabla III.4.1.c especifica los años de cosechas buenas, intermedias o malas durante el siglo XVII. De 37 años con información, 13 corresponden a buenas cosechas, 6 a cosechas intermedias y 18 a malas cosechas. Para la primera mitad del siglo, la mayor cantidad de información corresponde a Granada (AU-1), y para la segunda mitad, a Sevilla (AU-2, AU-3). Lo más interesante a destacar es que, tras las malas cosechas de 1605, prácticamente generalizadas y debidas a una sequía, se produce una sucesión de años, entre 1606 y 1622, con cosechas buenas o intermedias, estas últimas frecuentemente originadas por una sequía primaveral tras las lluvias del otoño y el invierno. En los años 1635 y 36 vuelven a repetirse estas condiciones, pero con peores resultados agrícolas, y las condiciones de sequía vuelven a encontrarse a final de siglo, en el periodo 1677-83.

TABLA III.4.1.c.- Calidad de las cosechas, siglo XVII.

AÑO	LUGAR	COSECHA	MET.	SOC.	FUENTES
1601	Utrera	B	P?		HC-2
1603	Granada	M			AU-1
1605	Granada Sevilla Utrera Jaen	M M M	S S S	C,H C,H R H	AU-1,A2 AU-2 HC-2 HR-3
1606	Granada Sevilla Málaga	B	P I	H,Ep	AU-1 A-3
1612	Granada	B	P		AU-1
1613	Granada	I			AU-1
1614	Granada Sevilla	B B			AU-1 AU-2,AU3
1615	Granada Sevilla	B	P		AU-1 AU-3
1616	Granada Madrid	I	P,S S		AU-1 AU-4
1617	Granada Madrid	I	S	H	AU-1,AU3 AU-4
1619	Granada Córdoba	B	P	L	AU-1 A-2
1620	Granada	B			AU-1
1622	Granada Sevilla Madrid	I	S H S		AU-1 AU-2 AU-4
1627	Sevilla Madrid España	M	I P P,I	C	AU1,AU2 AU3 AU4 AU-1,R4
1628	Granada	I	S,P		AU-1
1635	Granada Sevilla	M	P,I,S P,V		AU-1 AU-2
1636	Granada Sevilla Málaga Huelva	M M	P S S	E,C E	AU-1 AU-2 A-3 HC-5
1637	Granada	B			AU-1
1639	Granada	B	P		AU-1
1640	Granada	M	P,S,T		AU-1

Tabla III.4.1.c (Continuación)

1641	Granada Sevilla	M	T,P,S H		AU-1 AU-2
1642	Granada Sevilla Cádiz	B	P P,I,V T		AU-1 AU-1,AU2 AU-3 AU-1
1647	Sevilla	M	P,H	C	AU-2
1651	Sevilla	M	T	C,H	AU2,AU3
1652	Sevilla	B	P	C	AU2,AU3
1656	Málaga Sevilla	M	 T	H,Ep	A-3 AU-2
1657	Málaga Sevilla	M	 T		A-3 AU-2
1664	Sevilla	I	S,P	R	AU-3
1665	Sevilla	M	I		AU-3
1677	Sevilla Montilla Málaga	M M M	S S S	E,C H H	AU-3 HR-3 A-3
1678	Montilla Sevilla Málaga	M M	S S S	C,H,Ep E,C E,C,Ep	HR-3 AU-3 A-3
1679	Sevilla	B	P	E,Ep	AU-3
1683	Sevilla	M	S	R	AU2,AU3
1684	Sevilla	M	I,P		AU2,AU3 R-4
1685	Sevilla	M		E,C	AU-3
1690	Sevilla	B			AU-3
1692	Sevilla	M	P,I		AU-3

La Tabla III.4.1.d recoge las noticias referentes a la primera mitad del siglo XVIII. Siendo menor el número de fuentes y géneros historiográficos utilizados para este periodo (ver Tabla II.3.2) los datos de esta tabla se refieren exclusivamente a la ciudad de Málaga (fuente A-3). De 10 años con noticias, 2 corresponden a buenas cosechas y 8 a malas cosechas, de las cuales, son de destacar las de 1701 y 1711, asociadas a condiciones de sequía.

TABLA III.4.1.d.- Calidad de las cosechas, siglo XVIII.

AÑO	LUGAR	COSECHA	MET.	SOC.	FUENTES
1701	Málaga	M	S		A-3
1704	Málaga	M		E	A-3
1707	Málaga	B			A-3
1711	Málaga	M	S	C	A-3
1712	Málaga	M		G	A-3
1718	Málaga	M			A-3
1721	Málaga	B?		Ep,L	A-3
1734	Málaga	M			A-3
1737	Málaga	M			A-3
1750	Málaga	M			A-3

3.4.3. Modelo de las relaciones entre clima y agricultura.

Pretendemos explicar las fluctuaciones en la producción agrícola desde un punto de vista climatológico. Para afrontarlo, seguimos básicamente la estrategia definida por Ingram et al. (1981b) y Parry (1981), quienes proponen la elaboración de un modelo conceptual para representar los procesos del pasado, a partir del cual realizar reconstrucciones susceptibles de contrastación y refutación.

Como hipótesis de partida, suponemos que las fluctuaciones de corto plazo, es decir, interanuales o intradecenales, están en la época de estudio básicamente provocadas por fenómenos meteorológicos adversos, generalmente de carácter extremo. Las fluctuaciones a más largo plazo, a escala del siglo, vendrían provocadas por factores no específicamente climáticos, tales como la organización de la producción y el mercado, la historia bélica con sus continuas exigencias de abastecimientos y su colateral abandono del campo y falta de mano de obra, etc. Según Domínguez Ortiz (1988) no hay que pensar en agentes climáticos como determinantes de la crisis del siglo XVII en España. El bajo nivel tecnológico, la mala comercialización y los deficientes sistemas de almacenamiento aparecerían como factores decisivos. Uno de los principales problemas de esta agricultura estribaba en su incapacidad para elevar los rendimientos, a causa de la escasez de abono (García Martín, 1985).

El análisis de las informaciones de tipo cualitativo sirve de base para la elaboración de un modelo conceptual de las relaciones entre clima y producción agrícola. Este modelo debe revelar la naturaleza indirecta y compleja de las relaciones entre el clima y los fenómenos económico-sociales (Ingram et al., 1981b). En la Figura III.4.1 se muestra un esquema del modelo seguido en este estudio. El modelo es lo suficientemente general como para poder aplicarse a otro tipo de cultivo o a otras regiones, para la época de estudio considerada. Es un modelo de causalidad modificado para tener en cuenta las posibles "retroalimentaciones" o situaciones de "bidireccionalidad", provocadas por el impacto en la productividad agrícola de factores de tipo social y económico (Ingram et al., 1981b).

Como factores principales para la explicación de las fluctuaciones en la producción cereal consideramos dos: factores socioeconómicos y climáticos. Entre los primeros podemos destacar los sistemas de explotación de la tierra, que apenas variaron desde la época medieval (García Martín, 1985); tipos de cultivo, tecnología utilizada, escasez de abonos, e influencia de guerras y epidemias. Ya hemos visto que estos factores son los que provocan las fluctuaciones a gran escala en la producción agrícola, es decir, las tendencias a lo largo de un siglo o más tiempo. Además, los factores no-climáticos desfavorables convierten a la estructura agraria en muy vulnerable a los fenómenos meteorológicos adversos a corto plazo, situando a estas sociedades en una situación próxima a la "marginalidad", tal y como ha sido definida por Henderson-Sellers y McGuffie (1987). Según estos autores, en el centro de una región agraria las prácticas agrícolas están bien adaptadas al clima de la zona, y las variaciones de un año a otro no constituirán una amenaza considerable. Sin embargo, a medida que la zona está más próxima a los márgenes, la variabilidad se volverá más importante. Generalmente, la producción global será baja, de forma que sólo se podrá almacenar una pequeña cantidad de excedentes para cuando la variabilidad climática traiga consigo años de escasez. Si se produce un cambio climático que altere la frecuencia de los años de escasez, necesariamente deberá haber una respuesta humana.

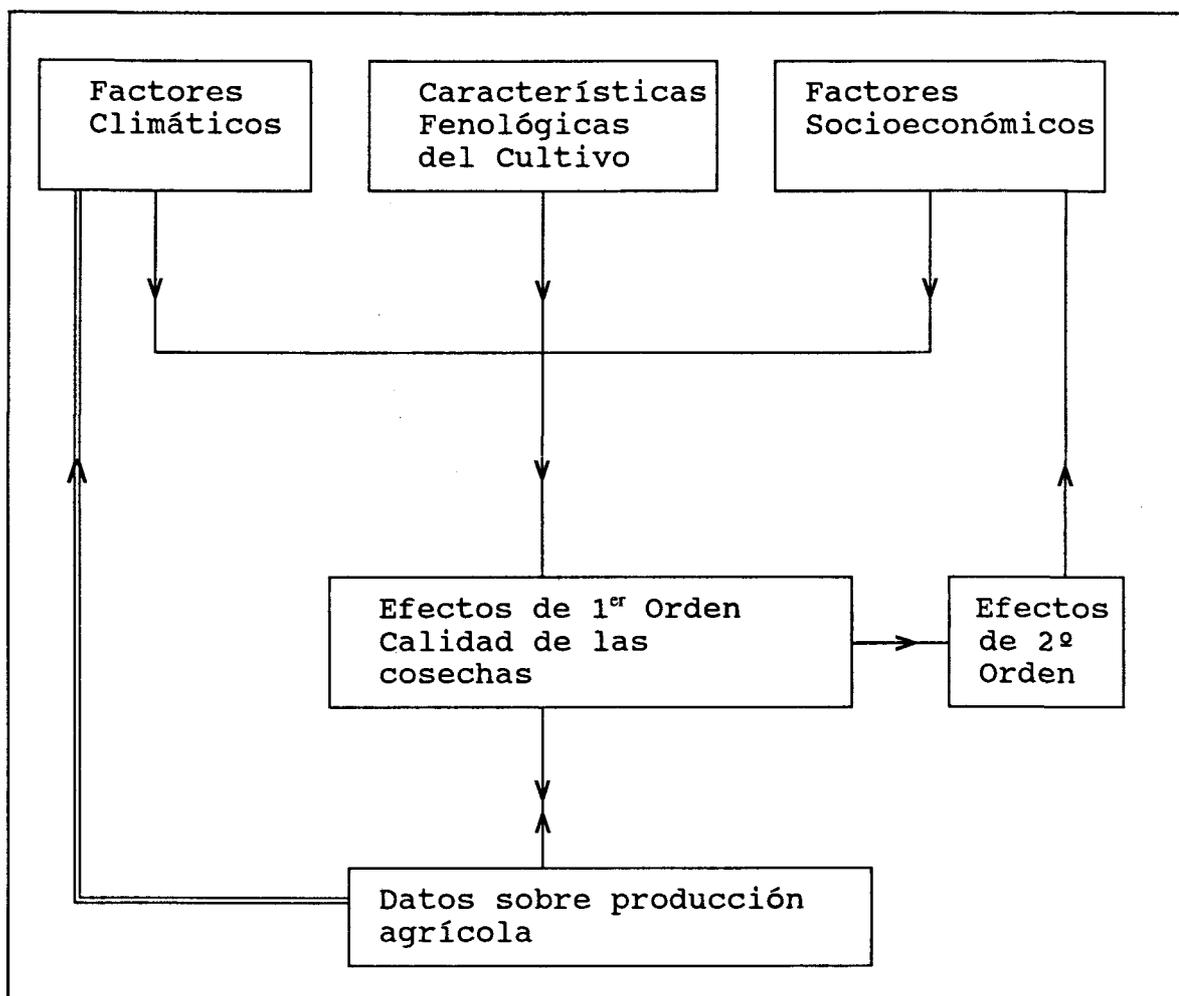


Figura III.4.1. Modelo de la relación clima-producción cereal.

Entendemos como factores climáticos las variaciones de la circulación atmosférica en nuestro hemisferio. Estas variaciones llevarán consigo el cambio en la frecuencia de los distintos tipos de tiempo que afectan a la región, y provocarán fenómenos meteorológicos e hidrológicos. Según Lamb (1981), la alternancia de estaciones extremas parece haber sido el aspecto más remarcable del comportamiento del clima para las economías de la Pequeña Edad de Hielo, con efectos severos en las cosechas y en la salud de ganado y poblaciones. El papel de los fenómenos extremos en el desarrollo económico y social ha sido muy importante hasta muy recientemente (Flohn, 1981). En España, podemos considerar como principales adversidades agrometeorológicas las heladas, las olas de calor, vientos violentos, granizo, lluvias excesivas y sequías (García de Pedraza et al., 1990).

En este punto introducimos las características fenológicas del tipo de cultivo en estudio, es decir, su respuesta a las variaciones meteorológicas. Abandonamos así el carácter general que hasta ahora presentaba el modelo, particularizándolo para el tipo de cultivo concreto que nos interesa, en este caso los cereales, y concretamente el trigo de invierno y la cebada. Aquí, no hay más remedio que partir del conocimiento que la ciencia agrícola nos proporciona hoy en día, haciendo uso de la hipótesis de "uniformismo" (Budyko, 1974), según la cual, las relaciones entre el clima y otros fenómenos naturales fueron las mismas en el pasado que en el presente. No obstante, el análisis de las informaciones cualitativas, y en especial, la coincidencia de cosechas buenas o malas con determinadas condiciones meteorológicas durante la época vegetativa de la planta puede servir de ayuda.

Hemos visto, a partir del análisis preliminar que proporcionan las Tablas III.4.1, algunas de las condiciones meteorológicas asociadas con la aparición de cosechas buenas, intermedias o malas. Dado que este estudio persigue el objetivo de establecer las relaciones entre clima y agricultura, parece necesario analizar aquellos años en los que tenemos noticias simultáneamente sobre la producción agrícola y las condiciones meteorológicas. Según Le Roy Ladurie (1983), las condiciones de luz y calor necesarias para el desarrollo del trigo están íntegramente satisfechas en el clima mediterráneo, y la sequía es nefasta para este cultivo: en el otoño paraliza las labores de siembra, y en primavera mata la futura espiga, priva de cosecha a los labradores y a veces de semilla para el año siguiente. Sin embargo, sabemos (García de Pedraza et al., 1990) que el régimen de precipitaciones no es el único elemento climatológico que puede afectar al resultado de la cosecha de cereal. Por ello, en las Tablas III.4.2.a-c recogemos aquellos años para los que tenemos ambos tipos de noticias, sobre resultado de las cosechas y condiciones meteorológicas, destacando las condiciones meteorológicas predominantes durante la vida vegetativa del cultivo, desde la sementera a la siega, para aquellos años de cosechas buenas, intermedias y malas. En estas tablas, los años subrayados son aquéllos en los que se tienen noticias de varios sucesos meteorológicos diferentes, manteniendo las claves utilizadas en las tablas anteriores. El interrogante acompaña a los años cuyas características de producción cereal o meteorológicas revisten algunas dudas, suscitadas por la ambigüedad de los textos originales.

La Tabla III.4.2.a se refiere al siglo XV. En esta tabla es de destacar que en todos los casos en que tenemos noticias agrícolas, las noticias meteorológicas asociadas están relacionadas con lluvias intensas, independientemente del carácter de la cosecha. Esto se debe, seguramente, a la distinta influencia de las precipitaciones en las diferentes etapas de desarrollo de la planta. En el año 1490, además, a las noticias sobre precipitaciones se unen informaciones sobre nevadas y fríos en Andalucía. En el año 1497, es dudosa la interpretación de lluvias.

TABLA III.4.2.a.- Años con noticias sobre calidad de las cosechas y condiciones meteorológicas asociadas a cada tipo de cosecha, siglo XV.

	SEQUIA	LLUVIAS	I	H,V,T,G
BUENAS		1495,1497?		
INTERMEDIAS		1487, <u>1490</u> , 1491		<u>1490(H)</u>
MALAS		1400,1435 <u>1486</u> ,1489	<u>1486</u>	

La Tabla III.4.2.b se dedica al siglo XVI. De esta tabla son de destacar los siguientes aspectos: en primer lugar, las cosechas catalogadas como "buenas" corresponden todas a años con descripciones de lluvias. El año 1565 presenta dudas sobre el carácter de la cosecha en Loja, pero fue un año caracterizado por precipitaciones en esta ciudad. En el año 1587, de buena cosecha, la duda reside en la información meteorológica, pero las informaciones sobre tormentas de viento en Cádiz parecen apuntar a la frecuencia de borrascas de origen atlántico, responsables de las precipitaciones en esta ciudad. Sólo dos años se catalogan como intermedios, 1548 y 1597. En este último una tormenta primaveral dio al traste con las buenas expectativas. El año 1548 presenta dudas respecto al carácter de la cosecha (Tabla III.4.1.b), pero se caracterizó por condiciones de sequía primaveral, escasez y carestía. Respecto a las malas cosechas, 11 están asociadas a condiciones de sequía, 4 a intensas precipitaciones (3 de ellas asociadas a inundaciones), y 3 a otras condiciones meteorológicas. En el año 1514 hay dudas acerca de las condiciones de sequía. En el año 1598 hay noticias que pudieran interpretarse como de sequía en Loja y precipitaciones en la Meseta castellana (Madrid), por lo cual se considera como dudoso. El año 1592 se caracterizó en Loja por una sucesión de fenómenos meteorológicos de distinto signo. En el otoño e invierno, meses de

Noviembre y Diciembre, la falta de lluvias originó el retraso de la siembra, que de hecho se efectuó en el mes de Febrero. Posteriormente, ya en la primavera, aparecieron borrascas con lluvias acompañadas de fuertes vientos, en Loja y también al Oeste, en Sevilla.

TABLA III.4.2.b.- Años con noticias sobre calidad de las cosechas y condiciones meteorológicas asociadas a cada tipo de cosecha, siglo XVI.

	SEQUIA	LLUVIAS	I	H,V,T,G
BUENAS		<u>1505</u> ,1508, 1509,1522, 1564,1565?, 1572,1575, 1579,1586, 1587?,1596	<u>1505</u>	
INTERMEDIAS	1548?			1597(T)
MALAS	1506,1507, 1514?,1520, 1521,1561, 1567,1589, <u>1592</u> , 1598?,1599	<u>1545,1590</u> , <u>1591,1592</u>	<u>1545,1555</u> <u>1590,1591</u>	1503(T?) 1562(V) <u>1592(V)</u>

La Tabla III.4.2.c corresponde a un estudio idéntico, esta vez para el siglo XVII. De nuevo, las buenas cosechas están relacionadas solamente con informaciones sobre lluvias. El año 1601 presenta dudas en cuanto a la información meteorológica. Las cosechas de carácter intermedio se reparten entre las categorías meteorológicas establecidas, a excepción de las inundaciones. 5 años corresponden a sequías, y 3 a precipitaciones. De estos, merecen destacarse los años 1616, 1628 y 1664, en los que una sequía primaveral sucedió a las precipitaciones invernales. En el año 1622 son de destacar las noticias sobre nevadas en Sevilla (AU-2), en el mes de Enero, lugar donde este fenómeno es muy poco frecuente incluso en invierno. Las malas cosechas correspondieron en 8 ocasiones a situaciones de sequía, en 8 a situaciones de lluvias (con inundaciones en 4 de ellas) y en 4 ocasiones a otros fenómenos. Los años 1635 y 1636 se caracterizaron por la sucesión de precipitaciones y riadas invernales y sequía primaveral. El año 1640 en Granada se caracterizó por precipitaciones en el mes de Enero, sequía en la primavera y una tormenta repentina a finales del mes de Mayo. En 1641, a estas condiciones hemos de sumar la información sobre heladas en Sevilla el 20 de Abril (AU-2). En 1647, durante el mes de Mayo, aparecieron intensas

lluvias, acompañadas de un frío "como por Enero" (AU-2).

TABLA III.4.2.c. Años con noticias sobre calidad de las cosechas y condiciones meteorológicas asociadas a cada tipo de cosecha, siglo XVII.

	SEQUIA	LLUVIAS	I	H,T,V,G
BUENAS		1601?,1606 1612,1615, 1619,1639, 1642,1652, 1679		
INTERMEDIAS	<u>1616</u> ,1617, <u>1622</u> , <u>1628</u> , 1664	<u>1616</u> , <u>1628</u> , <u>1664</u>		<u>1622(H)</u>
MALAS	1605, <u>1635</u> , <u>1636</u> , <u>1640</u> , <u>1641</u> ,1677, 1678,1683	<u>1627</u> , <u>1635</u> <u>1636</u> , <u>1640</u> , <u>1641</u> , <u>1647</u> , <u>1684</u> , <u>1692</u>	<u>1627</u> <u>1635</u> 1665 <u>1684</u> <u>1692</u>	<u>1640(T)</u> <u>1641(T)</u> <u>1647(H)</u> 1651(T)

Del conjunto de las tres tablas podemos extraer las siguientes conclusiones respecto a aquellos años en que contamos con informaciones sobre calidad de las cosechas y fenómenos meteorológicos:

- Las cosechas buenas sólo aparecen en asociación con noticias de precipitaciones y lluvias durante el invierno y la primavera.

- Las cosechas consideradas como intermedias aparecen normalmente como resultado de la combinación de varios factores. Así, en los años 1616, 1628 y 1664 se produjeron tras un invierno lluvioso y una primavera seca. En 1490 y en 1622 se produjeron además heladas invernales.

- Las malas cosechas en el siglo XV están asociadas a situaciones de intensas precipitaciones, muchas veces acompañadas de inundaciones, como ocurrió, por ejemplo, en 1486. En el siglo XVI, 11 están asociadas con sequías, 4 con precipitaciones y 3 con otros factores, en especial fuertes tormentas de viento. En el siglo XVII, 8 se asocian a sequías, 8 a fuertes precipitaciones y 4 a otros factores, principalmente heladas primaverales y tormentas a finales de la primavera. En el siglo XVIII (Tabla III.4.1.d) dos están asociadas a sequías, años 1701 y 1711.

Mientras que la aparición de buenas cosechas está relacionada de manera clara con un régimen "normal" de precipitaciones, con informaciones sobre lluvias en invierno y primavera y ausencia de otro tipo de fenómenos, el análisis de las cosechas de carácter intermedio o las malas cosechas revela que la respuesta del cereal a los fenómenos meteorológicos no es lineal. Situaciones de sequía en primer grado, lluvias intensas en segundo lugar, y aparición de heladas y tormentas en último lugar, se configuran como principales responsables del mal resultado de la cosecha. Esto se corresponde básicamente con las características fenológicas que presentan los cereales hoy en día (Durán Altisent et al., 1987), y constituye una prueba de la validez de las informaciones cualitativas.

Una buena cosecha de trigo de ciclo largo (siembra otoñal) es el resultado de lluvias abundantes de otoño, necesarias para las fases de siembra y nacimiento de la planta, de chaparrones primaverales que favorecen el encañado y espigado, y de un cálido mes de Julio, exigido por la fase fenológica del granado. La cebada presenta un ciclo más corto que el trigo, de ahí su mejor adaptación ante condiciones hídricas desfavorables, y que la siembra sea más tardía que para el trigo.

Cuando el año es muy lluvioso, aumenta la proporción de paja en perjuicio de la cantidad y la calidad del grano. Por otro lado, la falta de lluvia produce la disminución del producto en paja y en grano, y también la nulidad de la cosecha. Lluvias primaverales escasas y temperaturas elevadas durante las últimas fases del desarrollo pueden conducir al "asurado", que se caracteriza por la presencia de granos arrugados con poco peso específico y de pobre calidad.

Heladas (mínimas inferiores a 0°C para el trigo o 3°C para la cebada), calores excesivos (máximas superiores a 40° para el trigo y 45° para la cebada), vientos fuertes y granizos pueden causar también perjuicios en los cereales, según el estado de su vegetación.

El trigo y la cebada son cultivos propios de climas templados de tipo mediterráneo o continental, que se desarrollan bien en zonas áridas o semiáridas con precipitaciones anuales ≥ 400 mm. Como vemos sus condiciones fenológicas les hacen apropiados para la inferencia de condiciones climatológicas extremas. El estudio de la producción cereal

básicamente sirve como "proxy" del régimen de precipitaciones y de la posible aparición de fenómenos extremos. Los años de buenas cosechas, entonces, han de interpretarse como años con una pluviometría "normal" y con ausencia de fenómenos meteorológicos extremos. Los años de malas cosechas presentan una interpretación más difícil, o bien situaciones de sequía, o bien lluvias excesivas, o bien heladas y granizos.

3.4.4. Efectos de primer orden.

En nuestro modelo, el siguiente paso consiste en la contrastación con los datos básicos que pretendemos interpretar, es decir, la producción cereal o la calidad de las cosechas. Ya hemos visto que la influencia climática debe buscarse más en las fluctuaciones interanuales que en las oscilaciones de la producción a largo plazo. En primer lugar, debemos comparar las informaciones de tipo cualitativo con las cuantitativas correspondientes al año en cuestión, al previo y al posterior, ya que en muchos casos las apreciaciones sobre un buen o un mal año pueden estar influidas por el recuerdo de los resultados de la temporada anterior y, cuando la redacción de la fuente está algo más retrasada en el tiempo, por los de la temporada posterior. Hemos utilizado para este estudio los datos referentes a la ciudad de Sevilla, ya que es la única para la que contamos con cierto número de informaciones cualitativas y cuantitativas. Las otras ciudades de las que tenemos mayor información cualitativa (Loja, Granada, Málaga), presentan problemas a la hora de elaborar series cuantitativas fiables. Esto se debe a que las ciudades del antiguo Reino de Granada adolecen de una relativa penuria documental. Este problema se agrava con la coexistencia en estas ciudades de dos poblaciones, cristiana y cripto-musulmana, que no estaban sometidas al mismo régimen. El diezmo se cobraba de forma distinta entre un sector y otro, incluso entre un pueblo y otro (Vincent, 1985).

En la Figura III.4.2 se representa la evolución del diezmo del panterciado (trigo y cebada) en Sevilla, expresado en maravedises, desde el año 1587 hasta el 1793, en que termina la serie proporcionada por Ponsot (A-5). La serie presenta huecos o datos perdidos en los años 1598-99, 1604, 1616, 1621-26, 1628, 1663, y 1739-52. A grandes rasgos, esta serie presenta una tendencia creciente hasta aproximadamente 1630, una posterior fase de crisis hasta finales del siglo XVII, y una cierta recuperación hasta alrededor de 1730.

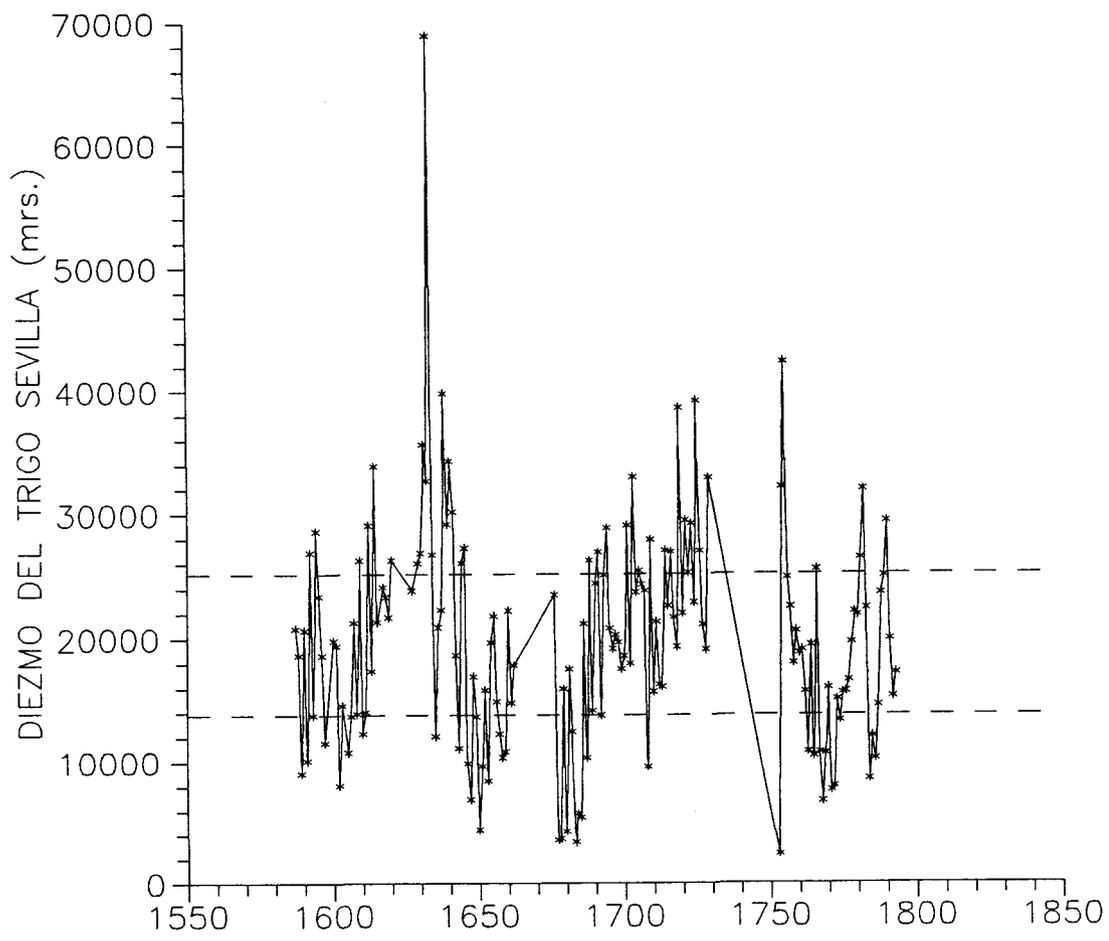


Figura III.4.2.- Diezmo del trigo en Sevilla (mrs.), durante el periodo 1587-1793. Las líneas discontinuas indican los cuartiles inferior y superior.

En líneas generales, estas son las características encontradas por Sebastián Amarilla (1991) en su análisis de la evolución de los diezmos en tierras de León, en la Meseta Norte castellana. Las diferentes características geográficas, topográficas y climatológicas de ambas zonas hacen pensar más en una explicación socio-económica que en causas climáticas. El análisis debe centrarse, por tanto, en periodos de tiempo menores, y en fluctuaciones interanuales e intradecenales.

Si comparamos las informaciones cualitativas sobre las cosechas correspondientes a Sevilla con las series de diezmos de esta ciudad, de los 23 años en que es posible tal comparación, hay concordancia en la mayoría de los casos. 9 años con noticias sobre malas cosechas coinciden con mínimos relativos en las series de diezmos (1589, 1605, 1635, 1647, 1677, 1678, 1683, 1685 y 1692), y 4 años con noticias sobre buenas cosechas coinciden con máximos relativos (1601, 1614, 1652, y 1679). 4 años con noticias sobre malas cosechas coinciden con fases de ascenso o descenso en los diezmos: los años 1656 y 1657 corresponden a una fase de descenso, y 1636, 1651 a una fase de ascenso. Estos dos últimos son inmediatamente posteriores a años de malas cosechas y crisis, por lo que la apreciación de un "mal" año no es contradictoria. Los años 1596, 1642 y 1690, caracterizados por las fuentes como "buenos", corresponden a periodos ascendentes en la evolución de los diezmos. Sólo se presentan posibles contradicciones en tres años: 1590 y 1592 se catalogan como "malos", a pesar de ser máximos relativos; 1615 se cataloga como "bueno", a pesar de ser mínimo relativo. Ahora bien, el máximo relativo de 1590 está comprendido entre dos años con diezmos bajos, en torno a los 10000 mrs., al igual que el de 1592. En cuanto al mínimo de 1615, está comprendido entre el máximo de 1614 y un año para el que no hay información cuantitativa, 1616, en el que hay noticias de sequía primaveral y cosechas moderadas, posiblemente peores que las de 1615, por lo que es posible que, en comparación, éste se catalogara como bueno.

Para el análisis de las series cuantitativas de diezmos, en primer lugar hemos calculado los estadísticos básicos de la serie completa representada en la Figura III.4.2. Estos estadísticos se resumen en la Tabla III.4.3. A continuación, puesto que lo que nos interesa es la evolución interanual, hemos dividido esta serie en varios fragmentos, de tal modo que cada subserie cubra un periodo de alrededor de 30 años y posea pocos huecos. Estas

subseries se representan en las Figuras III.4.3 (periodo 1587-1620, huecos en 1598, 1599, 1604 y 1616), III.4.4 (periodo 1627-1662, hueco en 1628) y III.4.5 (periodo 1676-1729, sin huecos). Puesto que el mayor interés de las series reside en su potencial interés para la reconstrucción de precipitaciones y fenómenos extremos, hemos establecido, a partir de la serie original completa, los límites fijados por el primer y tercer cuartil, como parámetros más válidos para la selección de los años de interés.

TABLA III.4.3.- Estadísticos básicos de la serie de diezmos del trigo de Sevilla, durante el periodo 1587-1793.

VARIABLE	VALOR (mrs.)
Media	19798
Mediana	19682
Moda	19680
Desviación típica	8964
Coefficiente de variación	45
Error típico	709
Mínimo	2400
Máximo	68903
Rango	66503
Cuartil inferior	13800
Cuartil superior	25175
Rango intercuartil	11375

En la Figura III.4.3 se representa la evolución del diezmo del trigo en Sevilla durante el periodo 1587-1620. A grandes rasgos, se observan tres periodos definidos. El primero cubre hasta 1594, con una tendencia general creciente, aunque con marcadas oscilaciones alrededor de 1590. El segundo periodo es claramente decreciente y culmina en la mala cosecha de 1605. Finalmente, el tercero, muestra una tendencia claramente creciente.

En el primer periodo tenemos dos años con valores por debajo del primer cuartil, 1589 y 1591. El primero corresponde a una situación de sequía y mala cosecha, el segundo a intensas precipitaciones, inundaciones y mala cosecha. El año 1592 presenta un valor por

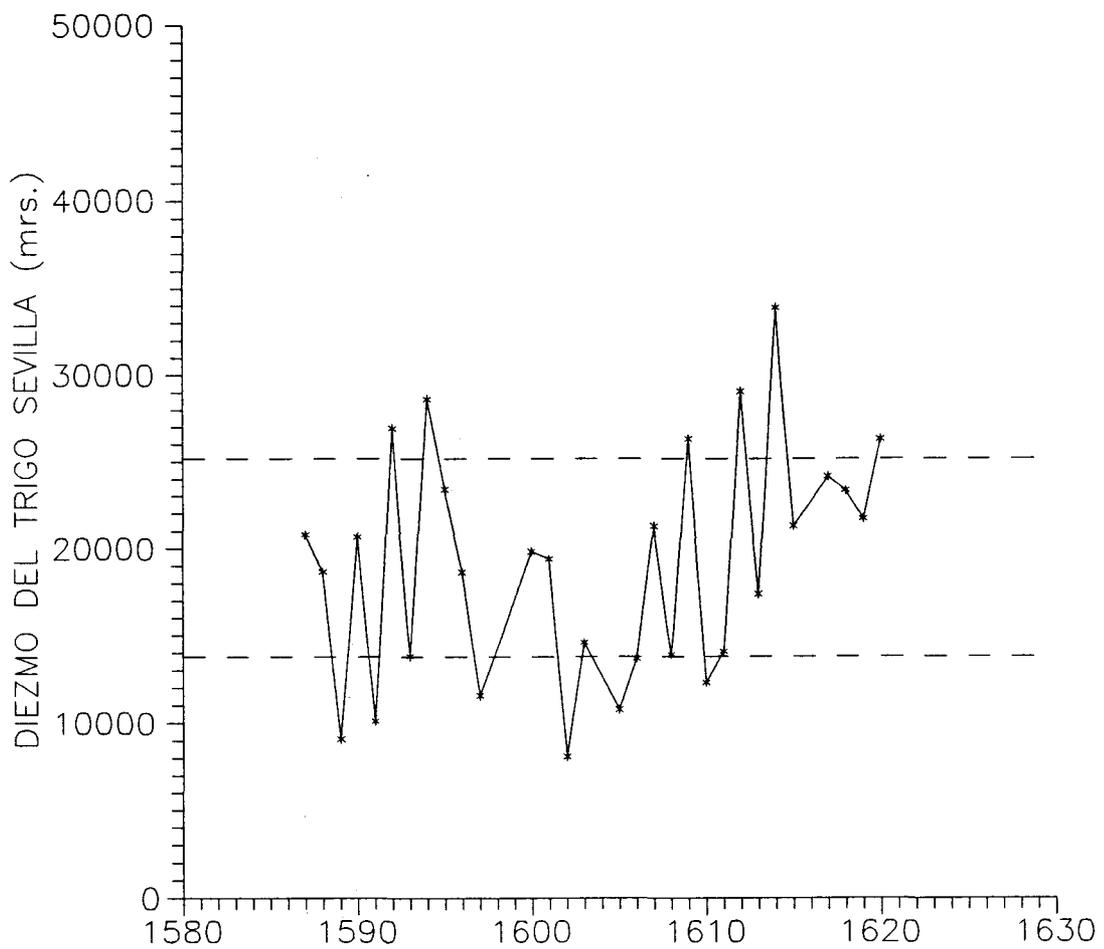


Figura III.4.3.- Diezmo del trigo en Sevilla (mrs.) durante el periodo 1587-1620. Las líneas discontinuas indican los cuartiles inferior y superior de la serie completa.

encima del tercer cuartil, lo cual en principio resulta contradictorio con las noticias que tenemos sobre este año, de mala cosecha en Loja, con diferentes fenómenos meteorológicos (Tabla III.2.4.b). Posiblemente la explicación esté en que las noticias de Loja reflejen un fenómeno puramente local, que no afectó a la generalidad de la región. 1594 presenta también un valor por encima del tercer cuartil. De este año tenemos noticias de precipitaciones y vientos (AU-3, A-1). El año 1588 está situado en el intervalo intercuartílico, y catalogado como "bueno" por las fuentes. El año 1590, del que sabemos estuvo dominado por las precipitaciones, presenta un valor próximo al de la mediana. Está catalogado como un año de "mala cosecha", pero esto puede ser consecuencia del mal año anterior.

Entre 1595 y 1605 tenemos tres años con malas cosechas, 1597, 1602 y 1605. En el primero se encuentra una tormenta que en Loja perjudicó a la cosecha. 1605 corresponde con la fuerte sequía invernal y primaveral, y quedaría por explicar el año 1602. De este año tenemos pocas referencias meteorológicas, a excepción de informaciones sobre lluvias y nevadas en Castilla durante el mes de Enero (R-3). Sin embargo, posiblemente la razón de esta mala cosecha haya que buscarla en causas no climáticas, como fueron las epidemias de peste que asolaron a diversas ciudades andaluzas en los años 1600 y 1601 (AU-3, HC-2, HR-3). Como consecuencia de esta mala cosecha, el año 1603, con un valor ligeramente superior al primer cuartil, registraría también una mala cosecha. Los años 1596 y 1601, catalogados como "buenos", poseen valores muy próximos a la mediana.

Entre 1606 y 1620 sólo el año 1610 tiene un valor por debajo del primer cuartil. De este año sólo poseemos noticias sobre falta de lluvias en Marzo en Madrid (AU-4). Queda la duda sobre si esta situación de sequía se extendió también a Andalucía, sobre todo si comparamos este año con 1609, caracterizado por fríos a finales de Febrero y comienzos de Marzo, y falta de lluvias en Marzo, con una rogativa por el agua el 26 de Marzo en Madrid (AU-4), y que sin embargo tiene en Sevilla un valor por encima del tercer cuartil. Los años 1612, 1614 y 1620, con noticias cualitativas sobre buenas cosechas, presentan valores por encima del tercer cuartil. Por otro lado, los años 1613 (cosecha I), 1615 (cosecha B), 1617 (cosecha I) y 1618 (cosecha I), de los cuales tenemos informaciones sobre aparición de lluvias, están comprendidos en el intervalo intercuartílico.

Del análisis precedente se deduce que, a excepción de un sólo caso, el año 1602, razones de tipo climático explican los años de crisis. Por otro lado, se aprecia un buen acuerdo entre las informaciones cualitativas y las cuantitativas. En cuanto al régimen de precipitaciones, entonces, podemos destacar una tendencia creciente de las lluvias hasta 1594, una tendencia decreciente hasta 1605, y de nuevo una tendencia creciente hasta 1620.

En la Figura III.4.4 se muestra la evolución del diezmo durante el periodo 1627-1662, con un sólo hueco en 1628. Puede apreciarse que la tendencia creciente que ya se advertía en años anteriores en la Figura III.4.3 se mantiene hasta comienzos de la década de los 30, con 6 años con producciones por encima del tercer cuartil, de 1629 a 1634. Durante este periodo son frecuentes las noticias de lluvias otoñales e invernales (AU-1, AU-2, AU-3, C-1, C-2) e incluso de inundaciones en Sevilla el 5 de Enero de 1632 (HR-2, C-1), y el 8 de Junio y el 23 de Septiembre de 1633 (AU-2). El año 1635, por debajo del primer cuartil, se caracterizó también por una mala cosecha en Granada, con una sucesión de lluvias y riada en invierno, sequía en Abril, lluvias en Mayo, así como precipitaciones y fuertes vientos en Sevilla. Esta situación de sequía se prolongaría a 1636 (AU-2), aunque el valor del diezmo está muy próximo a la mediana. Los años 37 y 42, catalogados como buenos, están comprendidos en el rango intercuartílico. Los años 1640 y 1641 ofrecen más dudas, pues poseen valores por encima del tercer cuartil y están catalogados como años de malas cosechas en Granada, con una noticia de helada el 20 de Abril de 1641 en Sevilla (AU-2). Pudiera ser que las malas cosechas fueran un fenómeno local en Granada, y que la helada de Abril de 1641 no afectara de forma apreciable al cereal. 1644 y 1645 ofrecen valores por encima del tercer cuartil, y recogen noticias sobre lluvias invernales (AU-2). A partir de esta fecha entramos en un periodo más crítico, donde son de destacar los años 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58 y 59, todos ellos con valores por debajo del primer cuartil. El año 1646 se produjo una situación de sequía en la campiña cordobesa (HR-3), el año 1650 fue especialmente destacado por riadas e inundaciones en Sevilla (AU-2, AU-3) y del año 1658 hay que destacar las heladas del invierno (AU-3) y la riada del 3 de Mayo (AU-2). El año 1652, situado en el intervalo intercuartílico, registra una buena cosecha y noticias de precipitaciones normales. 1656, catalogado como "malo", presenta un valor muy próximo, aunque superior, al del primer cuartil.

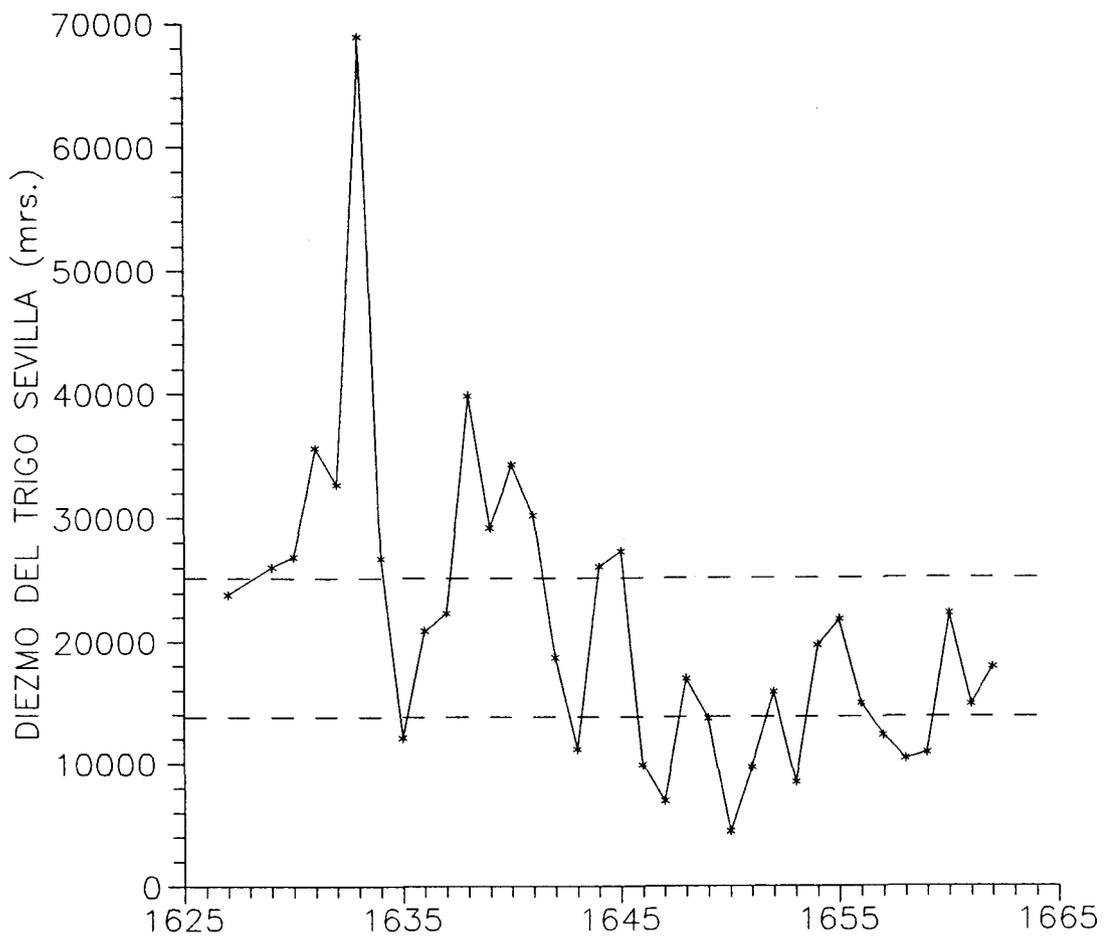


Figura III.4.4.- Diezmo del trigo en Sevilla (mrs.) durante el periodo 1627-1662. Las líneas discontinuas indican los cuartiles inferior y superior de la serie completa.

Vemos, por tanto, cómo en este caso, más que las sequías, son las fuertes precipitaciones y las heladas las responsables de los malos años. Además, hay que buscar una causa no-climática para los malos años 1649-51, que es la epidemia de peste que asoló a toda la región, diezmo la población y dejó los campos semiabandonados. La tendencia creciente de las precipitaciones seguiría durante el periodo 1627-62, sólo interrumpida por las sequías de 1635 y 1636. A partir de mediados del siglo XVII la evolución de las precipitaciones sería ya perjudicial, y estaría acompañada por dispersas situaciones de heladas y acontecimientos como la peste de 1649-50.

En la Figura III.4.5 se representa la evolución del diezmo del trigo en Sevilla durante el periodo 1676-1729, para el que no hay huecos en la serie. Como aspectos más relevantes de esta serie destaca el periodo de malas cosechas, con valores del diezmo inferiores al primer cuartil, desde 1677 hasta 1687, provocadas por una situación persistente de sequía (AU-3), tan sólo interrumpida por las lluvias y la buena cosecha de 1679 (AU-3) y el año lluvioso 1684, con fuertes lluvias desde el mes de Diciembre de 1683, que provocaron inundaciones en la ciudad (AU-2, AU-3), lluvias que se prolongaron al menos hasta el mes de Mayo (AU-3). En el año 1687, además, aparece la plaga de langosta en el mes de Abril. 1690, catalogado como "bueno" en las fuentes (AU-3), presenta un valor del diezmo por encima de la mediana. El año 1692 presenta noticias de lluvias e inundaciones en Enero que llevaron a perder las sementeras, así como intensas precipitaciones en Marzo, y sobre todo, en los meses de Mayo y Junio (AU-3). Esto dio lugar a una mala cosecha, con un valor del diezmo del orden del primer cuartil. El año 1707, incluido en el intervalo intercuartílico, con valor superior a la mediana, también presentó un buen resultado de la cosecha en Málaga (A-3), y los años 1712 y 1718, con valor inferior a la mediana, presentaron características de mala cosecha en Málaga (A-3). 1721, con un valor del diezmo en torno al del tercer cuartil, también presentó un buen resultado en Málaga. Los años 1701 y 1711, caracterizados por sequías y malas cosechas en Málaga (A-3), muestran resultados contradictorios en la serie de diezmos de Sevilla.

En general, se aprecia tras el periodo de sequías y fuertes lluvias de finales del siglo XVII una tendencia creciente en la producción cereal, con altos valores del diezmo en torno al año 1720, lo cual pudiera ser el resultado de un periodo de recuperación climática, como

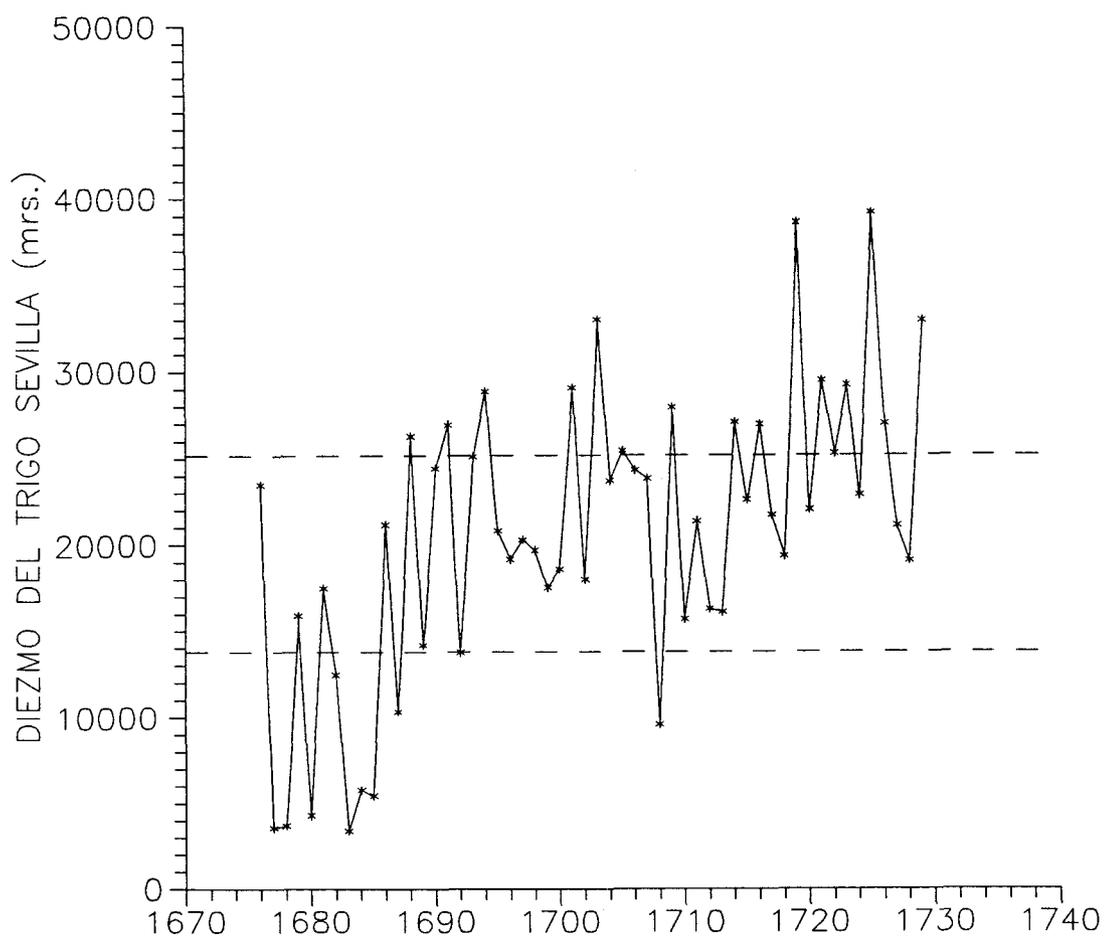


Figura III.4.5.- Diezmo del trigo en Sevilla (mrs.) durante el periodo 1676-1729. Las líneas discontinuas indican los cuartiles inferior y superior de la serie completa.

afirma Font Tullot (1988), al referirse a la evolución del clima en la Península Ibérica a lo largo del siglo XVIII. Desde el 1700, aproximadamente, la ausencia de valores del diezmo por debajo del primer cuartil indicaría entonces la ausencia de extremos climáticos y, en consecuencia, la recuperación de los niveles de producción cereal tras las sucesivas crisis del siglo XVII.

3.4.5.- Efectos de segundo orden.

Hemos denominado efectos de segundo orden a las consecuencias socioeconómicas de la aparición de malas cosechas, en particular, las situaciones de escasez, carestía, hambre, enfermedades, revueltas populares, etc. Ya hemos visto en esta sección la cadena causal que lleva a estas situaciones. El interés de estas noticias radica en su aparición cuando carecemos de informaciones sobre las cosechas. No obstante, la inferencia de posibles causas climáticas, es esencialmente especulativa, puesto que nos estamos alejando en nuestro modelo de una posible relación directa causa-efecto. Basta repasar las Tablas III.4.1 para observar que este tipo de noticias aparecen siempre que tenemos informaciones sobre malas cosechas, e incluso cuando había buenas cosechas. En estas últimas situaciones, la aparición de una mala cosecha el año anterior podía mermar las existencias de grano para sembrar, por lo que se sembraba menos de lo necesario para el abastecimiento, o provocar hambrunas, favoreciendo la aparición de epidemias, que disminuían la mano de obra, conduciendo así al abandono de los terrenos cultivables. Una de las consecuencias sociales más destacadas era la "revuelta del pan", demostración del descontento popular, que normalmente dirigía sus iras contra el gremio, muchas veces especulador, de los panaderos. Un buen ejemplo de esto nos lo ofrece el motín del barrio de Feria de Sevilla en 1652 (AU-2, AU-3), no obstante ser éste un año de buena cosecha, y estar comprendido el valor del diezmo en el intervalo intercuartílico. Los años anteriores habían sido años de peste, malas cosechas y hambrunas, de modo que el campo se despobló, pues sus habitantes buscaban en la ciudad las limosnas necesarias para la subsistencia. A estos factores de crisis demográfica, consecuencia de la peste del 49, escasez dentro y fuera de la región, se añadió un factor monetario, la apreciación de la moneda, que provocó una fuerte inflación.

Entre los efectos de segundo orden de mayor interés, tenemos el índice de precios del cereal. Según Lamb (1977), los cambios en el precio registran cambios en la relación del aporte efectivo de trigo con las expectativas. Este autor afirma que la fuerte tendencia al alza de los precios del trigo en Europa Occidental entre 1550 y 1650 fue inducida fundamentalmente por el clima. Le Roy Ladurie (1983), en cambio, sostiene que la revolución de los precios durante el siglo XVI nada tiene que ver con el clima, y que es preciso "purgar" las series temporales de precios de las tendencias a largo plazo, conservando exclusivamente las fluctuaciones cíclicas influidas por la meteorología y las cosechas. Ocurre además, como hemos visto, que la acción de adversidades meteorológicas, como las sequías, suele desfasarse en un año-cosecha, como consecuencia de la falta de granos tras una mala cosecha provocada por una sequía o por otra situación meteorológica adversa.

Fenómenos de índole puramente socioeconómica deben eliminarse (López Gómez, 1972) a la hora de evaluar las series de precios. Entre estos podemos destacar la tendencia inflacionista a largo plazo, las alteraciones del valor de la moneda, con frecuentes devaluaciones y apreciaciones durante el reinado de Felipe IV en el siglo XVII (Domínguez Ortiz, 1983), y las continuas revisiones del valor de la Tasa del trigo, o límite máximo impuesto por las autoridades para el precio del trigo, establecido con objeto de proteger al consumidor en situaciones de escasez. De hecho, en 1571 la tasa se establecía en 11 reales por fanega, en 1582 en 14, en 1600 en 18 y en 1699 en 28 reales por fanega (Castro, 1987).

A estas dificultades se suma el hecho de que a partir del mes de Marzo comenzaba a escasear el trigo almacenado, como se evidencia por ejemplo en Loja (A-1), con lo cual se producía una evolución intra-anual ajena a las condiciones climáticas. Con los primeros síntomas de una sequía, como por ejemplo en el otoño/invierno de 1604 (A-2), se iniciaba un proceso especulativo que encarecía el producto antes de confirmarse la realidad de una mala cosecha. Las autoridades municipales, por su parte, procuraban contener los precios de venta del trigo del pósito, pero se enfrentaban a una gran variedad de precios cuando pretendían comprar trigo fuera de la ciudad, o bien en otras regiones cerealistas de la península, o bien el denominado "trigo de la mar" (Domínguez Ortiz, 1988), procedente de las regiones productoras en Sicilia, Nápoles, Francia o el norte de Africa.

Además, podemos considerar como efectos de segundo orden las estrategias de respuesta y/o adaptación a las fluctuaciones en la producción agraria. Entre estas podemos citar la sustitución de cultivos, la extensión de cultivos a áreas marginales, los intentos de importación, o bien la prohibición de sacar el trigo de la ciudad, el establecimiento de la tasa y la creación de pósitos para el almacenamiento.

En cuanto a la sustitución de cultivos, parece ser que las frecuentes crisis agrarias llevaron paulatinamente en Andalucía a una progresiva sustitución del trigo por el olivo y la vid (Vincent, 1985) en los siglos XVII y XVIII. La vid presenta escasas exigencias climáticas en comparación con el cereal, y en el caso del olivo son muy variables dependiendo de la variedad de que se trate (Yuste Molina et al., 1987). Este hecho supuso la disminución proporcional del terreno utilizado para el cereal en el siglo XVIII (Castro, 1987).

La ocupación para el cultivo de tierras marginales, en general suelos empobrecidos y de escasa capacidad para sostener durante varios años cosechas productivas, conduce finalmente a una reproducción de la crisis (García Martín, 1985).

La tasa, dado su carácter forzado y artificial, sólo cumplía su objeto de forma irregular (Domínguez Ortiz, 1988) y cuando menos se cumplía era precisamente en épocas de escasez, donde era superada ampliamente por los precios reales, como por ejemplo en Córdoba, en 1506, donde fue suspendida (Castro, 1987). Según Vicens-Vives (1959), entre las consecuencias del establecimiento de la tasa del trigo, que se instaló con carácter permanente a partir de 1539, podemos considerar el desequilibrio entre rendimiento y costos, el absentismo de los agricultores, la desvalorización del suelo, la reducción del área cultivada por falta de mano de obra, y, finalmente, la aparición del mercado negro y el hambre. Entre 1761 y 1765, es decir, en plena época ilustrada, fue abolida en España, con lo que uno de los elementos principales de la organización agraria desaparecería.

En cuanto a los pósitos, constituían almacenes para la conservación del grano excedente en un buen año, como medida previsorá frente a los malos años. Sin embargo, las deficientes condiciones técnicas de conservación les hacían inoperantes frente a las consecuencias de una baja productividad y de las oscilaciones climáticas (Castro, 1987),

siendo necesario a veces tirar gran parte del grano conservado, por haberse podrido, como ocurrió en Loja en 1574 (A-1).

Como vemos, las estrategias de respuesta llevadas a cabo para afrontar las crisis agrarias eran incapaces de superar los años de malas cosechas. Respondían a las características generales de la organización y estructura agraria de la época (factores no-climáticos), y mantenían la condición de vulnerabilidad a corto plazo de la agricultura frente a los extremos climáticos.

Como conclusión de este estudio sobre las relaciones entre clima y producción cereal en la época que nos interesa, podemos afirmar que el modelo seguido permite explicar la mayoría de las fluctuaciones interanuales o intradecenales en la producción agrícola como consecuencia de fenómenos meteorológicos, correspondiendo los años de crisis a fenómenos de carácter extremo. Esta conclusión, siguiendo a Mackay (1981), sólo es posible obtenerla mediante comparación de los datos cualitativos y cuantitativos de producción cereal con las informaciones descriptivas de los fenómenos meteorológicos recogidas en las fuentes.

La confirmación final de las inferencias climáticas respecto a periodos de sequía, periodos lluviosos, frecuencia de tormentas de viento o heladas, o de años con un buen régimen de precipitaciones, sólo es posible mediante comparación y contrastación de diferentes tipos de datos. Esto ya se ha hecho de manera parcial al comparar noticias agrícolas con meteorológicas, pero nos hemos basado en la coincidencia en el tiempo y en el espacio de ambos tipos de noticias, suponiendo una relación causal, basada en la información fenológica que presenta la ciencia agraria. El estudio y la calibración independiente de los datos descriptivos directos (objeto del próximo capítulo), permitirá realizar una comparación y comprobación de las principales tendencias detectadas. En la sección 3.5.se realiza la comparación con los otros datos indirectos estudiados en este capítulo.

3.5. Resumen y perspectivas.

Aunque los datos recogidos en este capítulo no permiten obtener una visión completa de la evolución de los parámetros meteorológicos en la época de estudio, sí que ofrecen, al menos, algunas de sus características generales. Como resultados principales podemos destacar los siguientes:

a) Temperatura.

El comienzo de un periodo más frío en la Península Ibérica hacia mediados del siglo XVI viene indicado, en primer lugar, por el declive en esta época del cultivo de la caña de azúcar en Valencia. La ausencia de plagas de langosta en Andalucía durante el periodo 1554-1581 parece avalar esta hipótesis. Esta fase climática fría se consolidaría, en el siglo XVII. Los estudios sobre el comercio de la nieve nos indican la posibilidad de mayores niveles de innivación en las primeras décadas del siglo en la Sierra de las Nieves (Málaga), Sierra Nevada (Granada) y Sierra Espuña (Murcia). Un periodo frío de 1634 a 1669 estaría marcado por la ausencia de noticias de langosta en Andalucía y por las informaciones sobre heladas que pudieron afectar a las cosechas de los años 1641, 1647 y 1658. Hay además noticias de heladas que destrozaron las cosechas de caña de azúcar en Motril en 1604 (López Gómez, 1972), así como de nevadas en Sevilla en los años 1621, 1622 y 1624 (AU-2, AU-3).

Como consecuencia de esta fase climática más fría, y su carácter general en todo el hemisferio norte, es posible que se produjera un descenso en el nivel del mar, tal y como parecen indicar las informaciones sobre la expansión urbana de San Lúcar de Barrameda (HC-1). No obstante, esta fase fría no sería continua, sino que estaría interrumpida por la presencia de inviernos suaves, con mínimas superiores a -5°C , según la interpretación de las noticias de la plaga de langosta. Estos inviernos, identificados por el año al que pertenece el mes de Enero, serían 1509, 1510, 1543, 1547, 1548, 1551, 1552, 1553, 1619, 1671 y 1672. Todos ellos corresponden a años de buenas cosechas en Sevilla, es decir, a un nivel normal de precipitaciones, y sin noticias de extremos meteorológicos de importancia.

b) Precipitaciones.

En el siglo XV, las noticias más relevantes hablan de un alto nivel de precipitaciones, que influiría en las cosechas, tanto favoreciéndolas (año 1495), como perjudicándolas (años 1435, 1486). Respecto a los siglos XVI y XVII, tenemos noticias de distinto signo, ya sean sequías, precipitaciones apropiadas para las cosechas, o lluvias intensas acompañadas en muchas ocasiones de inundaciones, que destrozaban los cultivos. En general, se aprecia una gran variabilidad interanual.

La primera década del siglo XVI estuvo marcada por la sequía de los años 1506-1507 (Tabla III.4.2.b) a la que siguieron años de lluvias apreciables, de 1508 a 1510 (Tablas III.3.2 y III.4.2.b). La tercera década comenzaría con la sequía de los años 1520-1521 (Tabla III.4.2.b) a la que sucedería el año de carestía 1522, pese a la buena cosecha y a las noticias sobre precipitaciones (Tabla III.4.1.b). El año 1540 estuvo caracterizado por la mala cosecha en Loja y las rogativas pidiendo la lluvia en Sevilla (Tabla III.4.1.b). La quinta década del siglo presenta una marcada variabilidad interanual, con noticias sobre sequías los años 1542, 1546 y 1548 (Tablas III.3.2 y III.4.2.b), alternando con años lluviosos como 1543 (Tabla III.3.2) o 1545, cuando se registraron inundaciones en varios puntos de Andalucía y España (Tabla III.4.1.b). En el año 1555 tenemos la noticia de la riada del Genil en Loja (Tabla III.4.1.b), y es el primero de una serie de años de malas cosechas en esta ciudad, que se prolongarían hasta 1557. La séptima década presenta de nuevo características de variabilidad interanual, con sequías que darían lugar a malas cosechas en los años 1561 y 1567 y años de buenas cosechas como 1564 y 1565 (Tabla III.4.2.b). La octava década estuvo marcada por lluvias y buenas cosechas en los años 1572, 1575 y 1579. La novena década vuelve a presentar años de distinto carácter, lluvias en 1582, 1586 (Tablas III.3.2 y III.4.2.b, Figura III.4.3), sequía en 1584 (Tabla III.3.2) y 1589 (Figura III.4.3) e inundaciones en 1590 (Tabla III.4.2.b). En cuanto a la última década del siglo, presenta caracteres no sólo de variabilidad interanual (Figura III.4.3), sino también intra-anual, como es el caso del año 1592 (Tabla III.4.2.b). En esta década, tenemos inundaciones en 1591 en Loja, 1596 en Sevilla (Tabla III.4.1.b) y sequía los años 1599 y 1600 (Tablas III.3.2 y III.4.1.b).

La primera década del siglo XVII tendría como principal aspecto la sequía de 1605,

que daría lugar a malas cosechas (Tabla III.4.2.b, Figura III.4.3) y a la aparición de la langosta (Tabla III.3.2). A esta sequía seguiría un periodo de tendencia creciente de las precipitaciones, tan sólo interrumpido en la segunda década los años 1616 y 1617 (Tabla III.4.2.c) con sequías primaverales, tras las cuales las lluvias de 1618 provocarían la aparición de la langosta. Este periodo de tendencia creciente de las precipitaciones se prolongaría hasta 1620, como denotan las noticias sobre el comercio de la nieve (Tabla III.2.1) y el aumento de la producción agraria (Figura III.4.3). Las sequías de los años 1621-1622 y 1628 (Tablas III.3.2 y III.4.1.c) supondrían breves interrupciones de este periodo de precipitaciones, que culminaría con inundaciones y riadas en Sevilla el 5 de Enero de 1632, y en 1633 (Tabla III.3.2, Figura III.4.4), con el mayor índice de producción agrícola en Sevilla en 1633 (Figura III.4.4) y con riadas en Granada en 1635 (Tabla III.4.1.c). El año 1635 presentaría una gran variabilidad interanual, lo cual se refleja en la mala cosecha obtenida en Granada (Tabla III.4.1.c) y en el bajo valor de los diezmos del trigo en Sevilla (Figura III.4.4). A las sequías de los años 1636, 1640 y 1641 sucedería la inundación de Sevilla en 1642, los años de lluvias 1644 y 1645, una nueva situación de sequía en 1646 y nuevas riadas en Sevilla en 1650. Esta variabilidad interanual tuvo como consecuencia que alrededor de 1650 se obtuvieran niveles de productividad cereal de los más bajos de toda la serie de Sevilla (Figura III.4.1), a lo que habría que añadir las consecuencias de la peste que asoló a Andalucía en 1649. Los peores valores de producción agrícola en los siglos XVI y XVII se obtendrían (Figura III.4.1) en la década de los 80, como consecuencia de la sequía que comenzó en 1677, interrumpida por las lluvias e inundaciones de 1684 (Figura III.4.5), y que culminó con la aparición de la plaga de la langosta en 1687 (Tabla III.3.2).

En las primeras décadas del siglo XVIII, pese a las noticias de sequía en Málaga en 1701 y 1711 (Tabla III.4.1.d) comienza un periodo de recuperación en la producción cereal de Sevilla, el cual podría caracterizar un periodo marcado por la ausencia de fenómenos meteorológicos extremos.

En general, por tanto, respecto a las precipitaciones, la conclusión es de una gran variabilidad tanto a escala interanual como a escala anual, sobre todo a partir de la quinta década del siglo XVI, y, especialmente, a lo largo del siglo XVII. La hipótesis esgrimida por algunos historiadores (Vicens-Vives 1959; Duby, 1973), según la cual la crisis económica

del XVII se debería a una gradual tendencia a la aridez queda así en buena medida refutada. No fueron las sequías los aspectos climatológicos más relevantes, como afirman Fontana Tarrats (C-1) y Font Tullot (C-2), sino su alternancia con periodos lluviosos, inundaciones y riadas. Se confirma de esta forma, para el caso de Andalucía, la opinión de Lamb (1977), respecto a una gran variabilidad en el comportamiento climático de esta época. Esta variabilidad se produciría también a escala intra-anual. Son frecuentes los años en los que a intensas precipitaciones e inundaciones invernales sucedieron sequías primaverales, como por ejemplo, en 1592 (Tabla III.4.1.b), 1616, 1635, 1640 o 1641 (Tabla III.4.1.c). Situaciones opuestas (sequía invernal, lluvias primaverales), también se registran, como en 1628 o 1664 (Tabla III.4.1.c).

c) Vientos.

Respecto al régimen de vientos, la comparación entre las noticias de plagas de langosta de un siglo a otro (Tabla III.3.3) informa de un mayor predominio de la circulación meridional en los siglos XVI y XVII, respecto a los siglos XV y XVIII. Esto parece confirmado por las noticias de Orozco (HC-1) sobre el fuerte impacto de los vientos de Levante en las dos últimas décadas del siglo XVI, que enarenaron huertas y viñedos provocando su destrucción en la costa gaditana. Las noticias sobre borrascas y tormentas de viento que afectaron a las cosechas deben interpretarse como fenómenos locales, a falta de informaciones que presenten mayor cobertura geográfica. De estas, la más notable es la correspondiente al año 1562, que no sólo provocó la destrucción de las cosechas en el Marquesado del Zenete, al norte de Sierra Nevada en la provincia de Granada, sino que también, como analizaremos en un capítulo posterior, provocó la destrucción de la armada española en las costas mediterráneas de Andalucía (R-2).

En conclusión, del análisis de los datos indirectos, y su comparación con las informaciones cualitativas coetáneas de que disponemos, se infieren los siguientes aspectos generales para los siglos XVI y XVII:

a) Suponen un periodo de condiciones térmicas más frías que las correspondientes a los siglos XV y XVIII.

b) Muestran una gran variabilidad en el régimen de precipitaciones, con alternancia de sequías y periodos lluviosos, tanto a escala intra-anual, como interanual e interdécada.

c) En comparación con los siglos XV y XVIII muestran una mayor presencia de las circulaciones meridionales o no-zonales.

Para caracterizar el comportamiento del clima en la época de estudio, su evolución, tendencias, puntos de cambio, variabilidad, etc., es necesario contar con una serie continua y homogénea de datos. Los datos analizados en este capítulo, sin embargo, están fragmentados en el tiempo y en el espacio. Por ello sólo permiten obtener conclusiones generales, y no hacen posible un estudio estadístico exhaustivo.

El análisis podrá completarse, en primer lugar, cuando se amplíe la cobertura espacial de los datos de producción cereal, lo cual permitirá, promediando espacialmente, filtrar los fenómenos de carácter marcadamente local (Pfister, 1992a), con el objeto de obtener una serie climatológica regional. Al comparar las series de diezmos de diferentes localidades de la Baja Andalucía (A-5), se observan, sin embargo, grandes diferencias en el orden de magnitud de esta variable, dependiendo de las zonas y comarcas, con diferentes características de población, tipos de suelo, reparto de la propiedad de la tierra, etc. Además, cada serie local necesitaría de la suficiente información cualitativa y de índole socio-económica para poder establecer una calibración adecuada, y juzgar qué fluctuaciones responden a un impacto meteorológico. La integración de todas estas series locales (más de 200) en una única serie regional, es, de momento, una tarea inabordable, pero presenta un gran interés para futuros estudios paleoclimáticos.

En segundo lugar, parece adecuado extender este estudio a otros tipos de cultivo, con diferentes exigencias fenológicas, que pueden servir como datos "proxy" de las características climáticas de otras estaciones del año, como, por ejemplo, el olivo y la vid. La teoría moderna de la viticultura muestra que las fluctuaciones anuales en los campos vinícolas están relacionadas con el patrón meteorológico durante el verano. Meses de Julio y Agosto cálidos y secos proporcionan elevados resultados, y un verano frío y lluvioso da lugar a un colapso en la producción (Primault, 1969; Pfister, 1981). El verano persistentemente húmedo y frío

descompone las flores y provoca un rendimiento escaso; veranos cálidos pero no muy secos conducen a cosechas record, en tanto que el conjunto de las flores no resulte dañado por heladas tardías de primavera (Lamb, 1977). Así, la curva media de los rendimientos del mosto puede utilizarse para describir el tiempo del estío (Pfister, 1988).

La elaboración de un modelo para el estudio de las fluctuaciones en la producción de vino se ajustaría esencialmente a los mismos pasos que hemos seguido en el estudio de los cereales. Aunque disponemos de información cuantitativa sobre producción de vino (A-5), las informaciones cualitativas son escasas, así como las noticias descriptivas referentes al verano, como veremos en el próximo capítulo. Esto lleva a que las inferencias climáticas que pueden estimarse sobre el verano a partir de los datos de producción del vino sean difícilmente contrastables, dada además la no-linealidad de la respuesta de la planta a las condiciones meteorológicas. No obstante, una investigación exhaustiva en este campo puede en el futuro aportar información interesante.

La obtención de una serie climatológica homogénea y continua sólo parece posible a partir de las informaciones que hemos denominado datos cualitativos directos, siempre que estos estén bien fechados, localizados con precisión y suficientemente validados. Dedicamos el siguiente capítulo de esta Memoria al estudio y tratamiento estadístico de este tipo de datos. Las conclusiones obtenidas podrán entonces contrastarse con las procedentes de los datos indirectos.

CAPITULO IV
DATOS DIRECTOS



4.1. Introducción.

Definimos los datos directos como el conjunto de informaciones descriptivas, de carácter cualitativo, de exactitud demostrable, correctamente fechadas y localizadas (Wigley et al., 1986). Un factor básico que condiciona la utilidad de este tipo de datos es el grado en el que forman una serie sistemática, continua, basada en unidades de tiempo observacional fijas, homogéneas, y que puedan expresarse en forma numérica (Ingram et al., 1981).

En general, los autores de las fuentes eran de similar nivel educacional y cultural, la mayoría eran clérigos o estaban relacionados con el mundo jurídico y comercial. Estas similitudes explican la relativa consistencia del vocabulario, nombres, adjetivos y formas descriptivas usadas en sus escritos. Estas cualidades nos permiten compilar un conjunto bastante homogéneo de datos. Utilizamos el método de las "desviaciones" (Baron, 1992), en el cual se diseñan escalas ordinales para indicar el grado en el que el fenómeno se desviaba de lo normal en la percepción de los autores. Considerando el consenso entre un conjunto de observaciones procedentes de diferentes fuentes, las características personales y subjetivas de los autores pueden eliminarse en parte. Los escritos recogen en su mayor parte, aunque no siempre, aquellos fenómenos de carácter catastrófico con un impacto directo en la vida socio-económica de la época. Este estudio nos permitirá, por tanto, inferir las condiciones climáticas generales en la época de estudio a partir del análisis de los fenómenos extremos asociados.

Si no ha habido cambios ni en la percepción de los extremos ni en la frecuencia real de los mismos, es decir, si tenemos un número de noticias aproximadamente similar por década, podemos afirmar que el conjunto de datos es idóneo, si no completo del todo (Ingram et al., 1981). Cuando los datos disponibles están muy fragmentados, sólo es posible usar el material para proporcionar alguna indicación de las posibles tendencias. Este método, aunque asistemático, es permisible siempre que las conclusiones se presenten con las apropiadas precauciones (Ingram et al., 1981).

La metodología necesaria para el tratamiento de los registros no-instrumentales debe contemplar varios aspectos (Ball, 1992):

- a) El volumen del material no cuantitativo.
- b) La necesidad de establecer la uniformidad a través de la longitud del registro.
- c) La necesidad de establecer una técnica que se aplique al espectro completo de noticias descriptivas meteorológicas.
- d) La necesidad de establecer medidas significativas de las variables a partir de las cuales poder inferir condiciones atmosféricas predominantes.

Estos objetivos pretenden cubrirse en las siguientes secciones. El estudio de la distribución espacio-temporal de las noticias (secciones 4.2 y 4.3) nos permitirá evaluar el volumen de noticias con que contamos, así como su distribución. La necesidad de establecer la homogeneidad del registro nos limitará el análisis tanto en el tiempo, descartando las noticias relativas a los siglos XV y XVIII por más escasas y fragmentadas, como en el espacio, centrándonos en dos "regiones climáticas" de Andalucía, la Depresión del Guadalquivir y el surco intrabético oriental, cuando no en la región entera. La técnica utilizada para contemplar la variedad de registros encontrados es el procedimiento de indización, por el cual se traduce la información cualitativa en información cuantitativa susceptible de un tratamiento estadístico (sección 4.4). Este análisis estadístico no será posible en el caso de las noticias relativas a temperaturas, por lo que una primera aproximación a su estudio se realiza de forma independiente en la sección 4.5. La posibilidad de obtener un registro continuo y homogéneo de las precipitaciones, fijando el año como unidad temporal observacional, se demuestra en la sección 4.6. En esta sección se establecen medidas de las precipitaciones totales anuales, que nos permitirán inferir fases secas y húmedas, variabilidad de las precipitaciones inter-década, fluctuaciones, situaciones de cambio climático, etc. El objetivo de este análisis estadístico es caracterizar los fenómenos de cambio climático en la época de estudio. La comparación con la situación actual será posible tras la aplicación de las técnicas de reconstrucción, basadas en el establecimiento de ecuaciones de regresión entre los índices numéricos y las variables meteorológicas. Se usa aquí de manera implícita la hipótesis de que las condiciones climáticas generales eran similares en la época de estudio a las actuales, por lo que los resultados deberán interpretarse como desviaciones respecto al presente.

Ningún registro climático puede ser totalmente fiable para representar una

reconstrucción clara, a menos que haya evidencias corroboradoras de otra fuente independiente (Jones y Bradley, 1992a). Cuantas más líneas de evidencia se apoyen mutuamente, más fuerte será la base para la confianza en las reconstrucciones. De hecho, todos los datos y parámetros "proxy" están influidos por interferencias no-climáticas, de modo que el uso de un sólo indicador conduce a una alta tasa de error. Sólo la síntesis de varios indicadores diferentes proporciona resultados seguros (Glase y Hagedorn, 1991). Sin embargo, las reconstrucciones resultantes, por ejemplo, del análisis de datos históricos directos y anillos de árboles, sólo correlacionan de una forma "general" (Baron, 1992), dado que diferentes indicadores pueden referirse a distintas variables climáticas, o a una misma variable en diferentes épocas del año. Este problema intentará solventarse mediante la comparación de los resultados del análisis de los datos históricos directos e indirectos con las informaciones históricas procedentes de otras zonas en la Península y de Europa, y mediante la comparación con los resultados del análisis de anillos de árboles.

4.2. Precisión espacial de las noticias.

La mayoría de las reconstrucciones del clima se presentan en forma de series temporales y la atención de la investigación se dirige principalmente a la mejora de la resolución temporal de los hallazgos a estaciones o meses y a la interpretación de los resultados por medio de técnicas estadísticas. La investigación de la dimensión espacial del cambio climático, por el contrario, se ha despreciado hasta ahora. Las series temporales regionales no son piezas aisladas de datos, que pueden interpretarse por su propia forma, sino que deben relacionarse con el clima global (Pfister, 1992). Para los estudios paleoclimáticos tanto interés presenta el análisis de la evolución temporal de los fenómenos como su distribución geográfica, con el fin de plantear la posibilidad de variaciones regionales y las interacciones entre medio físico, orografía, cuencas hidrográficas y elementos climatológicos. El análisis de la distribución geográfica de los fenómenos es, además, básico para la inferencia de los posibles tipos de tiempo involucrados en cada caso.

Los factores del clima son complejos y variados en Andalucía, de ahí la riqueza de variedades regionales y matices locales en el clima andaluz, espacialmente repartidos en función de factores tales como distancia al mar, contraste Mediterráneo/Atlántico, altitud, inclinación de las laderas montañosas, etc (Castillo-Requena, 1989). Andalucía está situada en una zona geográfica donde entran en contacto grandes superficies geográficas que muestran radicales diferencias entre sí (Africa, Europa, Mediterráneo, Atlántico), y, dada su posición latitudinal, se ve sometida a una gran variedad de condiciones de circulación atmosférica que se suceden y sustituyen en unos pocos días.

A la hora de evaluar las noticias encontradas hay que tener en cuenta la situación geográfica que, en gran medida, determina las condiciones meteorológicas locales. Además, puede ocurrir que los observadores del pasado no fueran necesariamente conscientes de que las condiciones del tiempo varían marcadamente de una región a otra, y no distinguieran entre fenómenos puramente locales y sucesos lejanos a su experiencia directa, o bien situaciones que eran capaces de observar ellos mismos, pero que también podían ocurrir en otras áreas (Ingram et al., 1981). El primer paso en nuestro estudio consiste en analizar la cobertura espacial de las noticias dadas por las fuentes.

En nuestro caso, encontramos que la mayoría de las noticias recogidas se refieren a una localidad o centro urbano, tales como las ciudades de Sevilla, Córdoba, Málaga, Loja o Granada. En ocasiones, los autores generalizan noticias locales, extendiendo su impacto a toda Andalucía, o incluso a la Península entera. Sin embargo, los autores ya eran, en alguna medida, conscientes de que las condiciones meteorológicas pueden presentar aspectos específicos locales, distinguiendo, por ejemplo, la distinta influencia de la proximidad a la montaña o al mar. Estamos en una época en la que eran corrientes los viajes transoceánicos, que habían permitido el contacto con climas muy diferentes. Aunque no se explicara por métodos científicos, ya se distinguía que las condiciones climáticas variaban de un lugar a otro. El concepto hipocrático de clima como conjunto de condiciones medioambientales que caracterizaban la salubridad de un lugar, y el método de comparación como forma de descripción de los nuevos climas encontrados en América o en Asia, favorecían la aparición de un conocimiento empírico que distinguía claramente entre las condiciones climáticas de regiones diferentes.

En la época de estudio, las ciudades se convirtieron en un factor decisivo de desarrollo y civilización. En ellas tenían lugar las transformaciones sectoriales en la producción artesanal, incrementándose los intercambios y perfeccionándose los métodos financieros. La creciente demanda de las ciudades les fue haciendo cada vez más dependientes del campo, en lo que a abastecimiento de alimentos, materias primas y combustible se refiere (García Martín, 1985). La influencia de los factores meteorológicos en la coyuntura agrícola era muy fuerte, como vimos en el capítulo anterior, de ahí la atención recogida en los textos a los diversos sucesos meteorológicos que podían poner en peligro la productividad agrícola. La cobertura espacial de las noticias directamente relacionadas con la producción agrícola, tales como sequías, lluvias excesivas que disminuyen los rendimientos de las cosechas, o heladas y fuertes vientos que las destrozan, debe entenderse como extendida a aquellas zonas que contribuían al suministro de las ciudades. Sólo informaciones como tormentas convectivas muy localizadas pueden atribuirse exclusivamente al perímetro urbano.

En el caso de Sevilla, podemos considerar toda la Campiña del Valle Bajo del Guadalquivir, incluyendo a poblaciones como Utrera (como describe Rodrigo Caro en la

fuelle HC-2), Osuna, Carmona, o Marchena, todas ellas a una distancia de al menos 20 km de Sevilla. El suministro de Granada era garantizado, desde la conquista de la ciudad en 1492, por la vega adyacente y las villas de Illora, Montefrío, Moclín, Colomera, Iznalloz, Guadahortuna y Montejícar, las denominadas "Siete Villas" (Luna Díaz, 1979), poblaciones situadas al norte y noroeste de Granada, a una distancia no inferior a 20 km, zona de secano en las proximidades de la vega granadina, en la cuenca del río Genil.

En consecuencia, en cuanto a la cobertura espacial de las noticias podemos distinguir entre aquéllas relacionadas con el mundo agrícola, que atribuimos a una zona situada a un radio entre 15 y 20 km de la ciudad mencionada; las que responden a fenómenos que pudieron ser estrictamente locales, como tormentas de tipo convectivo en verano; y, finalmente, noticias de más amplia cobertura geográfica, como las generalizaciones llevadas a cabo por los autores de las fuentes, o las noticias relativas a viajes, en las que, a falta de mayor información, atribuimos la noticia a la región situada entre el origen y el destino del viaje.

Si bien las últimas presentan problemas de interpretación, como la posible excesiva generalización de un fenómeno más restringido espacialmente, el uso de las anteriores permite, en principio, la utilización de ciertas ciudades, como Sevilla o Granada en la primera mitad del siglo XVII, de manera análoga al uso moderno de determinadas estaciones meteorológicas, como representativas de condiciones climatológicas regionales. Sin embargo, esto daría lugar a registros muy heterogéneos, de longitudes desiguales, y con gran número de huecos. El estudio comparativo de los fenómenos climáticos en distintos puntos de Andalucía, sólo es posible de esta forma para breves periodos muy determinados, como por ejemplo, la primera mitad del siglo XVII en Sevilla y Granada, cubierta con bastante detalle por diversas fuentes (véase Tabla II.2.2). Es necesario, por tanto, recurrir a un método algo diferente de tratamiento espacial de las noticias, con el objeto de, por un lado, conseguir series homogéneas de datos, y, por otro lado, evitar que condiciones típicas de una zona concreta sean asignadas de forma arbitraria a otra distinta, dada la diversidad climática de Andalucía.

El método que hemos elegido utiliza el concepto de "región climática", entendida

como aquella porción de la superficie terrestre caracterizada por el carácter homogéneo de sus elementos climáticos en contraste con las regiones circundantes (Jansá Guardiola, 1954). Definidas las diferentes regiones climáticas de Andalucía, cada noticia convenientemente localizada será asignada a la región que le corresponda. Las noticias que, según los autores, corresponden a toda Andalucía, en principio se considerarán como un caso aparte.

El siguiente problema consiste, pues, en establecer una clasificación de la diversidad climática de Andalucía, con el objeto de establecer las distintas regiones climáticas que la componen. Para ello debemos evitar tanto una excesiva generalización como una excesiva finura. Nos enfrentamos a un problema de escala. El examen de las características climáticas generalizadas a la globalidad de la superficie andaluza requiere un nivel de detalle inferior al de la aproximación a las diferentes regiones que la componen (Castillo-Requena, 1989). Este problema puede identificarse con el que representan los efectos de los factores ("forcing") atmosféricos en escalas espaciales diferentes: a gran escala, es decir, aquellos factores que modifican la circulación general y determinan la secuencia de sucesos meteorológicos que caracteriza el clima de una región dada (desde ~ 1000 km hasta la escala global); y los factores a mesoescala (entre 10 y 100 km), como por ejemplo los inducidos por aspectos topográficos y características superficiales que modifican la estructura de los sucesos meteorológicos, y cuyo efecto se siente sólo localmente. El efecto combinado de ambos tipos de factores determina el detalle climático regional (Giorgi y Mearns, 1991). En este sentido, el análisis global de Andalucía reflejará la acción de ambos tipos de factores, mientras que las diferencias regionales mostrarán los fenómenos a mesoescala.

Las principales regiones climáticas de la Península Ibérica, según los índices térmico y pluviométrico, son las denominadas zonas verde y parda. La primera comprende todo el norte peninsular, Galicia, costa del Cantábrico y Pirineos. La segunda, a su vez, se divide en región atlántica (costa de Portugal y golfo de Cádiz), región continental (interior de la Península) y región mediterránea (costa mediterránea) (Font Tullot, 1988). Según esta división, Andalucía estaría dividida en tres zonas, atlántica, continental y mediterránea, coincidentes en líneas generales, con las cuencas hidrográficas del Guadalete, Guadalquivir y vertiente meridional, respectivamente, que Font Tullot (1988) distingue en su análisis de la frecuencia de inundaciones en épocas históricas. Para estudios restringidos a Andalucía,

el principal defecto de esta división es que no tiene en cuenta las diferencias climáticas que pueden apreciarse entre zonas como el Valle del Guadalquivir y Sierra Nevada, por ejemplo, ambas pertenecientes a la región continental. Además, esta división se obtiene exclusivamente atendiendo a los valores promediados de temperatura y precipitación en determinadas estaciones consideradas como representativas (San Fernando, Sevilla y Murcia, respectivamente), y no tiene en cuenta la frecuencia y sucesión de diferentes tipos de tiempo a lo largo de las estaciones del año.

Un estudio exhaustivo de las diferencias climáticas en Andalucía, es el proporcionado por Castillo-Requena (1989), quien establece una división en regiones basándose en la distribución de temperaturas y precipitaciones, frecuencia de tipos de tiempo, y en la consideración de otros factores como altitud, orografía, etc. Este autor, además, utiliza datos de más de cincuenta estaciones meteorológicas distribuidas por toda Andalucía, durante el periodo 1968-1982. Como resultado de su estudio, establece 5 regiones climáticas principales, que son las que hemos adoptado nosotros, y cuyas características generales pasamos a describir a continuación.

R-1) Depresión del Guadalquivir y Sierra Morena.

El carácter termopluiométrico de esta región es el resultado del compromiso entre los flujos atlánticos a los que la Depresión se abre a través de unas costas bajas y una superficie poco o nada accidentada, y los flujos mediterráneos cuyo avance hacia esta región se encuentra entorpecido por la interposición de los sistemas orográficos alpinos. Destacan las altas temperaturas estivales y las moderadas oscilaciones térmicas introducidas por las advecciones perturbadas atlánticas. Las precipitaciones son rara vez torrenciales, pero con frecuencia copiosas y prolongadas, con el máximo pluviométrico en invierno. Esta región posee escasas diferencias con respecto a las características de la globalidad del clima de Andalucía, constituyendo la región central a partir de la cual se producen modificaciones en diversas direcciones y con distintas intensidades.

R-2) Golfo de Cádiz.

No se plantean situaciones sustancialmente diferentes a las de la región R-1, salvo las provocadas por la situación costera de esta región, como la amortiguación del ciclo anual de temperaturas y la disminución de los volúmenes de precipitación anual, ante la falta de una topografía pluviométricamente eficaz.

R-3) Cadenas montañosas.

Comprende esta región los núcleos montañosos de Grazalema, Sierra Nevada y Cazorla. La actividad pluviométrica, provocada por mecanismos de precipitación atlánticos en un espacio geográfico propicio al estancamiento de los ponientes y suroestes, es muy importante, y en forma de nieve durante la época fría. Riesgos de helada apreciables en los distintos tipos de tiempo de invierno y otoño, más reducidos en primavera, y casi inexistentes en verano.

R-4) Surco Intrabético Oriental.

Comprende las depresiones intrabéticas orientales de Huéscar, Baza, Guadix y Granada. Con respecto a la Depresión del Guadalquivir presenta profundas modificaciones, con fuertes contrastes día/noche e invierno/verano, bajas temperaturas nocturnas, inexistencia de la templanza invernal que determinan los tipos de tiempo del W y del SW, así como la existencia de situaciones nocturnas relativamente frías en pleno verano. Las modificaciones más profundas y significativas se manifiestan en el régimen pluviométrico, que manifiesta una fuerte disminución del volumen anual de precipitaciones y del protagonismo de los tipos de tiempo ciclónicos del SW.

R-5) Costa mediterránea.

El relieve bético, en conjunción con la presencia del Mediterráneo, incide en el comportamiento climático local de las situaciones típicas e incluso en alteraciones a mesoscala del esquema sinóptico de muchas de estas situaciones. Como consecuencia de la

presencia del Mediterráneo se produce una homogeneización térmica entre los distintos tipos de tiempo, con una minimización de las diferencias entre los valores absolutos de temperatura (máximas y mínimas). La disminución del número de días de precipitación acrecienta los periodos de sequía, y aparece la torrencialidad asociada a la irregularidad pluviométrica.

Una vez establecidas las principales regiones climáticas que componen Andalucía, el siguiente paso es asociar cada noticia a la región correspondiente. Así, las informaciones relativas a Córdoba o Sevilla se asignan a la región R-1, las relativas a Cádiz o Jerez de la Frontera a la región R-2, las noticias asociadas a las zonas montañosas a la región R-3, las relativas a Granada a la región R-4, y las relativas a puntos de la costa mediterránea, como Málaga o Motril, a la región R-5. El único lugar que ofrecía dudas en cuanto su ubicación regional era la ciudad de Loja, situada, según la clasificación de Castillo-Requena (1989) en una zona de transición al Intrabético, o región R-4. Considerada dentro de la región R-1, manifiesta una notable excepción desde el punto de vista térmico, y, dada su proximidad geográfica a Granada, y su situación en el valle del Genil, hemos optado por situar las noticias relativas a Loja en la región R-4.

El siguiente paso en el análisis es contabilizar la cantidad de noticias relativas a cada región. En principio, tenemos un conjunto heterogéneo de noticias, que tratan de sequías, lluvias intensas, heladas, nevadas, intensidad y dirección del viento, nubosidad, etc. Clasificamos las noticias correspondientes a cada región en cuatro categorías: precipitaciones (P), temperaturas (T), viento (V) y nubosidad (N). A las 5 regiones especificadas añadimos en un grupo aparte las noticias referidas en las fuentes de forma global a toda Andalucía. Los resultados para el periodo completo en estudio (siglos XV al XVII) se muestran en la Tabla IV.2.1.

Del total de 765 noticias encontradas, 70 corresponden al siglo XV, 324 al siglo XVI y 371 al siglo XVII. Las regiones con mayor número de noticias son la región R-1 y la región R-4, con un 37.4% y un 26.5% del total de noticias, respectivamente. Esto es lógico, dado el protagonismo en la época de ciudades como Sevilla y Córdoba (R-1) o Granada (R-4). Les siguen en orden de importancia las regiones R-2 (Cádiz, Jerez de la Frontera, Huelva) y R-5 (Málaga), con porcentajes del 12.4 y el 11.4%. La región que posee menos

TABLA IV.2.1.- Distribución espacial de las noticias directas encontradas en las fuentes, siglos XV, XVI y XVII. P=precipitaciones; T=temperaturas; V=vientos; N=nubosidad. Entre paréntesis, porcentaje de cada tipo de noticia respecto al total de noticias para cada región. En la fila Suma, % de noticias correspondientes a cada región.

Tipo	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
P (%)	58 (74.4)	179 (62.6)	72 (75.8)	7 (43.7)	155 (76.4)	55 (63.2)	526 (69)
T (%)	19 (24.4)	52 (18.2)	2 (2.1)	3 (18.8)	30 (14.8)	10 (11.5)	116 (15)
V (%)	1 (1.2)	33 (11.5)	19 (20)	4 (25)	9 (4.4)	19 (21.8)	85 (11)
N (%)	0 (0)	22 (7.7)	2 (2.1)	2 (12.5)	9 (4.4)	3 (3.4)	38 (5)
Suma (%)	78 (10.2)	286 (37.4)	95 (12.4)	16 (2.1)	203 (26.5)	87 (11.4)	765 (100)

información es la R-3 (2.1%), como corresponde a las zonas montañosas donde no existen núcleos urbanos de importancia. Un 10.2% de las noticias es atribuido en las fuentes a la totalidad de Andalucía.

El 69% del total de 765 noticias corresponden a informaciones sobre precipitaciones, donde hemos incluido las noticias referentes a sequías, lluvias excesivas, precipitaciones débiles, tormentas y granizo. El 15% corresponde a noticias relativas a las temperaturas, donde se han incluido informaciones sobre calor/frío excesivos y/o a destiempo, heladas, nevadas, permanencia de la capa de nieve, etc. Un 11% recoge las informaciones sobre dirección e intensidad de los vientos, incluidas las referencias a "huracanes". Finalmente, el 5% corresponden a informaciones sobre nubosidad y cielos despejados.

Este orden se aprecia en términos generales en todas las regiones, donde predominan las informaciones de precipitaciones sobre el resto. En las regiones R-2, R-3 y R-5, el segundo lugar en orden de importancia lo ocupan las noticias sobre vientos, lo cual resulta lógico en las regiones R-2 y R-5, zonas costeras, con puertos importantes para el tráfico marítimo de la época, como Cádiz en el Atlántico y Málaga en el Mediterráneo. En estas regiones, la atención al régimen de vientos, su dirección e intensidad, está justificada por el impacto que sobre la navegación tenían los vientos fuertes y tempestuosos y las calmas. Además, dada la proximidad al mar, las posibles anomalías térmicas se verían suavizadas o

aminoradas en gran medida. Finalmente, destacar la mayor importancia de los vientos en la región R-1 (11.5%) frente a la región R-4 (4.4%).

Podemos preguntarnos si esta distribución de las noticias por regiones y tipos principales se mantiene como una constante a lo largo de todo el registro. Dicho de otro modo, si el conjunto de informaciones recogidas resulta homogéneo para todo el periodo de tiempo estudiado. Las Tablas IV.2.2 y IV.2.3 son similares a la anterior, mostrando la distribución de las noticias para los siglos XVI y XVII, respectivamente. En conjunto, ambos siglos recogen el 90.8% del total de noticias directas encontradas para Andalucía. Los aspectos generales encontrados para todo el periodo de registro se repiten en las Tablas IV.2.2 y 3, es decir, predominio de las regiones R-1 y R-4, a las que siguen las zonas costeras R-2 y R-5. La región R-3 carece de informaciones relevantes en el siglo XVI. Así mismo, ocupan el primer lugar, y con marcada diferencia, las informaciones sobre precipitaciones, en las regiones litorales las noticias sobre vientos predominan sobre las de temperaturas, y los vientos en la región R-1 tienen mayor importancia que en la R-4.

Como principales consecuencias del análisis de la distribución espacial de los distintos tipos de noticias podemos destacar, en primer lugar, que el estudio debe restringirse a las regiones R-1 y R-4, por su predominio frente a las otras regiones. La región R-3 aporta noticias en un porcentaje despreciable, y las regiones costeras R-2 y R-5 con unos porcentajes muy bajos, inferiores al 20%. El conjunto de las regiones, junto a las noticias generalizadas a toda Andalucía, podrán considerarse en el análisis global. En segundo lugar, las características generales para todo el periodo en estudio, se reproducen con escasas variaciones en cada siglo, mostrando la homogeneidad del registro obtenido. El bajo porcentaje de noticias correspondientes al siglo XV (en torno al 10%) desaconseja, en principio, afrontar un estudio estadístico pormenorizado de este siglo.

En cuanto a la información climática que es posible extraer de las noticias recogidas, es de destacar, como ya hemos mencionado, que las noticias sobre precipitaciones aparecen con un elevado porcentaje (alrededor del 70%) sobre el resto de las informaciones. Si bien esto se explica por la estrecha relación entre régimen de precipitaciones y producción agrícola, dado el interés de las fuentes por todo lo relacionado con la agricultura, podría ser

TABLA IV.2.2.- Idem Tabla IV.2.1, para el siglo XVI.

Tipo	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
P (%)	43 (82.6)	91 (70.5)	16 (84.2)	0 (0)	70 (77)	15 (45.5)	235 (73)
T (%)	9 (17.3)	15 (11.6)	0 (0)	0 (0)	10 (11)	7 (21.2)	41 (13)
V (%)	0 (0)	17 (13.2)	3 (15.8)	0 (0)	7 (7.7)	9 (27.2)	36 (11)
N (%)	0 (0)	6 (4.7)	0 (0)	0 (0)	4 (4.3)	2 (6)	12 (3)
Suma (%)	52 (16)	129 (39.8)	19 (5.9)	0 (0)	91 (28)	33 (10.2)	324 (100)

TABLA IV.2.3.- Idem Tabla IV.2.1, para el siglo XVII.

Tipo	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
P (%)	10 (47.6)	79 (56.8)	55 (75.3)	4 (44.4)	73 (82)	31 (77.5)	252 (68)
T (%)	10 (47.6)	30 (21.6)	2 (2.8)	1 (11.1)	12 (13.5)	1 (2.5)	56 (15)
V (%)	1 (4.8)	16 (11.5)	15 (20.5)	3 (33.3)	1 (1.1)	7 (17.5)	43 (12)
N (%)	0 (0)	14 (10)	1 (1.4)	1 (11.1)	3 (3.4)	1 (2.5)	20 (5)
Suma (%)	21 (5.7)	139 (37.5)	73 (19.7)	9 (2.4)	89 (23.9)	40 (10.8)	371 (100)

indicativo de un hecho climático relevante: los fenómenos climáticos y de cambio climático en Andalucía están más relacionados con las precipitaciones que con las temperaturas. En consecuencia, la búsqueda de información sobre cambio climático natural en Andalucía debe centrarse en el estudio de las precipitaciones. Esta situación refleja en el pasado las condiciones del presente, en el que las precipitaciones marcan la pauta climatológica de Andalucía (Capel Molina y Andújar Castillo, 1978). El análisis del resto de las informaciones, es decir, temperaturas, vientos y nubosidad, deberá afrontarse en conjunción con las precipitaciones a la hora de estudiar anomalías específicas, con el objeto de determinar los posibles tipos de tiempo causantes de las mismas.

Desde el punto de vista pluviométrico, Castillo-Requena (1989) distingue tres regiones principales en Andalucía, según los tipos de tiempo responsables de las principales precipitaciones a lo largo del año: la región de los suroestes a ábregos (región SW), que comprende la Depresión del Guadalquivir (R-1) y el litoral atlántico (R-2); la región de los ponientes, que coincide con la región R-3, y la región de los mediterráneos autóctonos (región M), que comprende la región R-4 y la costa mediterránea oriental. La costa mediterránea (R-5) desde el litoral mediterráneo del Estrecho de Gibraltar hasta el sector granadino, es incluida por este autor en la región de los ábregos. Dado que nuestro interés reside en inferir las condiciones de la circulación atmosférica responsables de las condiciones climáticas en Andalucía en la época de estudio, y el papel predominante de las precipitaciones, parece aconsejable adoptar esta clasificación regional para llevar a cabo el estudio. Distinguiremos por tanto, entre las regiones SW (R-1+R-2) y M (R-4) a la hora de analizar las precipitaciones. Las noticias relativas a la región R-5 corresponden en su mayoría a inundaciones que asolaron la ciudad de Málaga. Las condiciones topográficas y costeras de esta ciudad aconsejan su tratamiento diferenciado respecto a las otras regiones. El interés de esta división reside en la minimización de los mecanismos atlánticos correspondiente a la región M, lo cual permite el protagonismo de los mecanismos mediterráneos autóctonos. Así pues, el análisis de las precipitaciones a lo largo de un eje orientado de oeste a este puede aportar información interesante sobre la distribución espacial de los fenómenos climáticos, y sobre el predominio de factores "forcing" de origen atlántico o mediterráneo. La anterior división en 5 regiones se mantiene para el resto de las variables climáticas.

4.3. Precisión temporal de las noticias.

En el pasado se han usado muchas formas diferentes de calendario. Es importante establecer, en primer lugar, qué sistema de datación fue empleado por los autores en las fuentes utilizadas (Ingram et al., 1981). En España, el calendario gregoriano fue introducido en sustitución del juliano el 5 de Octubre de 1582, y se extendió rápidamente debido a la estructura política y administrativa bajo el reinado de Felipe II, siendo esto recogido por los autores de las diversas fuentes (por ejemplo, Jorquera en AU-1, Zúñiga en AU-3, Pedraza en HR-2, etc.). Para las noticias y fuentes anteriores a esta fecha, la corrección necesaria para convertir las fechas al nuevo sistema de datación consiste en añadir 10 días entre el 29 de Febrero del 1500 y el 5 de Octubre del 1582 y 9 días entre el 29 de Febrero del 1400 y el 28 de Febrero del 1500 (Lamb, 1991).

El tipo de información encontrada depende de las fuentes: los diarios pueden suministrar datos diarios mientras que cartas o informes oficiales pueden proporcionar información discontinua, y crónicas y anales dan una buena visión general de los aspectos climáticos (Camuffo y Enzi, 1992). En general, se encuentra una amplia variedad de niveles de precisión temporal en las fuentes, desde noticias en las que se especifica incluso la hora del día en que ocurrieron (como es el caso de tormentas y granizadas), hasta la precisión anual, estacional o mensual (sequías, lluvias intensas generalizadas). A veces, incluso, se encuentran referencias imprecisas a la "calamidad de los tiempos", que sólo pueden considerarse como informaciones de valor relativo, aceptables siempre y cuando confirmen o sean confirmadas por otras informaciones fechadas con precisión.

La percepción del tiempo en esta época era más cualitativa que cuantitativa, entre otras razones por la falta de un instrumento preciso para medir el tiempo. Los días no solían estar codificados por una cifra, sino por el nombre del santo o una fiesta (García Cárcel, 1985). Por ello, es posible que cuando se describían los fenómenos meteorológicos, los autores "redondearan" las fechas alrededor del día del santo más importante y próximo, con el resultado de que fechas aparentemente precisas, sólo son significativas como aproximaciones (Ingram et al., 1981).

El concepto del tiempo estaba claramente marcado por los ritmos agrarios y la climatología. Las necesidades agrícolas habían hecho consciente al hombre desde la antigüedad de la naturaleza y regularidad de las estaciones del año. De hecho, las primeras aproximaciones a los fenómenos climatológicos consistieron en el conocimiento de la periodicidad de los mismos, es decir, su ritmo estacional y cronológico (Castillo Requena, 1991). Esta aproximación se establecía en base a la periodicidad estacional de los fenómenos y a la ocurrencia en una determinada fecha de un hecho en principio totalmente desconectado del fenómeno climático (migraciones y comportamiento de especies animales), pero que se observaba poco antes de que este fenómeno climático se desencadenara. Aparecía así un conocimiento empírico basado en la necesidad de predicción para asegurar el éxito de las cosechas, en el cual los conocimientos fenológicos juegan un papel decisivo. La concepción del clima que de esta meteorología popular se deriva es de un marcado carácter estacional, donde las características de las estaciones, e incluso de los meses del año, están bien delimitadas.

Así pues, tenían mucho más sentido las estaciones con sus respectivas vidas laborales que los meses o los días (García-Cárcel, 1985). Por esta razón, en lo que sigue, se han utilizado las estaciones correspondientes al año agrícola en la Península Ibérica: Invierno (Diciembre, Enero, Febrero), Primavera (Marzo, Abril, Mayo), Verano (Junio, Julio, Agosto) y Otoño (Septiembre, Octubre, Noviembre).

En el estudio del nivel de precisión con que aparecen las noticias en las fuentes se han catalogado las informaciones inicialmente en cuatro tipos, según su precisión temporal sea diaria (D), mensual (M), estacional (E) o anual (A). Las noticias D se refieren principalmente a tormentas, inundaciones, nevadas o heladas. Las noticias tipo M recogen informaciones sobre lluvias abundantes y continuadas y sequías. Las noticias tipo E recogen además informaciones de carácter térmico, entre las que destacan aquéllas relativas a una estación "más/menos fría/cálida de lo normal". Finalmente, las noticias tipo A corresponden básicamente a sequías o años muy lluviosos.

El primer paso es determinar cuántas noticias diferentes hay, y con qué precisión temporal se proporcionan. Para ello, hay que tener en cuenta que, mientras que las noticias

tipo D son un "redondeo", las noticias tipos E y A son un "promedio", en el que los autores generalizaban para toda una estación o un año las características climáticas de aquellos meses críticos para la vida vegetativa de los cultivos.

El tratamiento de las noticias, a efectos de contabilizar el número de noticias diferentes encontrado, ha sido como sigue:

- Se ha elegido el mes del año como unidad temporal básica a la que referir las noticias climáticas encontradas.

- Las noticias D se asocian al mes correspondiente, respondiendo así al carácter de "redondeo" que presentan, por tanto el carácter D se pierde, y las noticias tipo D se consideran tipo M.

- Las noticias E ya recogidas como noticias M se rechazan. Aquéllas que no vienen dadas con precisión mensual se asocian a los tres meses de la estación correspondiente, siempre que esto sea posible.

- Las noticias tipo A ya recogidas como E se rechazan. Las noticias tipo A no recogidas como E ó M deben asignarse a la estación y meses correspondientes siempre que esto sea posible, como en el caso de las sequías, asignables al Otoño, Invierno o Primavera, en función de otras noticias correspondientes a estas estaciones.

- En el caso de que aparezcan noticias contradictorias de distinto nivel de precisión temporal, se rechaza aquélla información de menor fiabilidad o menos contrastada. Puede ocurrir que exista una contradicción entre noticias de distinto nivel de precisión, pero en principio igualmente fiables. Las generalizaciones a un año entero pueden encubrir problemas de percepción por parte de los autores. El hombre tiende a actuar como un filtro "paso-altas", y sus observaciones subjetivas muestran sólo fluctuaciones de corto periodo sobre una norma siempre cambiante (Ingram et al., 1981). Este problema ha aparecido en unos cuantos casos, relacionado siempre con la percepción de sequías y lluvias excesivas. Así, en Sevilla en 1617 una información tipo E atribuye al otoño una inundación, mientras

que otra tipo A nos habla de un año seco. La percepción de las sequías seguía la marcha del año agrícola, y en concreto las condiciones que afectaban al cultivo del trigo y la cebada, cuya cosecha se realizaba tras las lluvias del invierno y la primavera, al principio del verano. En este caso, se asoció la percepción de la sequía al invierno y la primavera. En otras ocasiones donde no ha sido posible establecer esta distinción estacional, se ha rechazado la noticia de mayor lapso temporal.

- Este tratamiento ha sido llevado a cabo de forma independiente para cada una de las regiones climáticas definidas en la sección anterior. Con él se pretende reflejar la individualidad de cada región, por una parte, y por otro lado los efectos de redondeo asociados a las noticias D, y de promedio asociados a las noticias E y A.

Como resultado de la aplicación de estos criterios, se ha encontrado el total de 765 noticias diferentes referido ya en la sección anterior, correspondientes a las distintas regiones climáticas, a los distintos tipos de noticias (precipitaciones, carácter térmico, vientos, nubosidad) y a diferentes niveles de precisión. Nos encontramos además con noticias anuales o estacionales que no encuentran expresión en noticias con precisión mensual. El carácter heterogéneo y misceláneo de las fuentes lleva a que las informaciones recogidas por los autores fueran fundamentalmente anomalías de carácter extremo. Esto tiene como consecuencia inevitable la heterogeneidad temporal de los registros.

Dado que nuestro objetivo es la obtención de un conjunto homogéneo de datos, una posible solución a este problema consiste en contabilizar el número de meses, estaciones y años con noticias, con el objeto de determinar la unidad temporal básica de cara al estudio estadístico de los datos. En las estaciones del año hemos considerado no sólo las noticias de tipo E, sino también aquellas estaciones del año para las que hay información de tipo M. Idéntico criterio se ha seguido con los años y las informaciones de tipo M y E. Los resultados correspondientes al periodo 1471-1700 se recogen en la Tabla IV.3.1. En la última columna se recoge sólo el número de meses/estaciones/años diferentes con noticias (de ahí que cada cifra no corresponda necesariamente a la suma aritmética de los elementos de su fila, ya que si una misma noticia se produce en dos regiones diferentes, para el cómputo global se considera como una sola). La columna **Global** se refiere a aquellas noticias dadas

en las fuentes de forma generalizada para toda Andalucía. Se han elegido las tres últimas décadas del siglo XV pues, tras un análisis preliminar, se ha apreciado una mayor densidad de información para los últimos años de este siglo, como consecuencia de la repercusión que tuvo la Guerra de Granada, que se prolongó desde 1482 hasta la toma de Granada en 1492.

Para toda Andalucía, del total posible de meses, sólo un 15% registran informaciones climáticas, entre los que destacan los meses de Enero, Abril, Marzo y Mayo. Si agrupamos los registros por estaciones del año, este porcentaje asciende hasta un 35%, donde el predominio de las informaciones corresponde al invierno y la primavera. Finalmente, si contabilizamos el número de años con información, el porcentaje asciende hasta un 86%. La cobertura temporal de las informaciones aumenta al disminuir el grado de precisión. Si agrupáramos las informaciones por décadas, encontraríamos que el 100% de las décadas poseen información, pero a cambio perderíamos detalle en la información climática. Esta progresión se observa en todas las regiones. Las regiones R-1 y R-4 puesto que, como vimos en la sección anterior, poseen la mayor parte de las informaciones, son las que ofrecen mayores porcentajes, un 65.2 y un 49,6%, respectivamente, de los años poseen información. En último lugar tenemos a la región montañosa R-3, con tan sólo un 3%. Al igual que hicimos en la sección anterior con la distribución espacial de los registros, podemos preguntarnos si la distribución temporal de las noticias se mantiene aproximadamente constante para todo el periodo, es decir, si tenemos un conjunto de datos homogéneamente distribuidos en el tiempo. Para responder a esta pregunta hemos elaborado las Tablas IV.3.2, 3 y 4, donde realizamos el mismo estudio para los años considerados del siglo XV, el siglo XVI y el siglo XVII, respectivamente. Añadimos, además, la distribución de años con noticias por década dentro de cada subperiodo. Cada década se identifica por la letra D seguida del número de orden.

Si bien las Tablas IV.3.3 y 4, correspondientes a los siglos XVI y XVII, muestran en general características similares a las de la Tabla IV.3.1 (más del 80% de los años con noticias, predominio de las regiones R-1 y R-4, y R-2 en el siglo XVII, bajos porcentajes para la región R-3), la Tabla IV.3.2 correspondiente al periodo 1471-1500 muestra algunos aspectos diferentes. El porcentaje de años con noticias es menor y el predominio de la información corresponde a la región R-4, en detrimento de la R-1. Los 10 años de la novena

TABLA IV.3.1.- Número de meses, estaciones y años con noticias climáticas en las distintas regiones climáticas de Andalucía, correspondiente al periodo completo del registro (1471-1700). Entre paréntesis, el porcentaje respecto al número total posible durante el periodo de estudio (2760 meses; 920 estaciones; 230 años).

	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
Dic.	4	17	0	0	14	6	34
En.	9	39	2	1	24	10	61
Feb.	9	26	4	0	14	8	42
Mar.	6	29	6	0	9	5	45
Ab.	5	25	5	0	17	6	52
May.	2	27	3	1	15	3	43
Jun.	2	15	1	0	16	4	26
Jul.	2	5	1	2	8	2	14
Ag.	1	9	0	0	9	1	15
Sept.	3	9	0	0	11	11	23
Oct.	1	8	2	1	10	8	20
Nov.	3	10	4	0	6	5	26
Total meses	47 (1.7)	219 (7.9)	28 (1)	5 (0.2)	153 (5.5)	69 (2.5)	404 (15)
Inv.	20	63	8	2	45	21	104
Prim.	10	61	12	0	32	13	100
Ver.	5	28	2	3	32	8	56
Ot.	6	30	8	2	26	21	64
Total est.	41 (4.5)	182 (19.8)	30 (3.3)	7 (0.8)	135 (14.7)	63 (6.8)	324 (35)
Total años	45 (19.6)	150 (65.2)	75 (32.6)	7 (3)	114 (49.6)	57 (24.8)	199 (86)

década, que corresponden a "grosso modo" al periodo en el que transcurrió la Guerra de Granada, poseen más información. Las campañas militares que desembocaron en la toma de Granada en 1492 se desarrollaron por el territorio comprendido por el antiguo Reino de Granada, desde Guadix y Baza (R-4) hasta Málaga (R-5) pasando por localidades de la serranía de Ronda (R-3), como la propia Ronda, Setenil o Zahara (véase, por ejemplo, la segunda parte de AU-1). La distribución por décadas es en este siglo bastante más irregular que en los siglos XVI y XVII, con tan sólo 4 años con información directa en la última

década. Esta irregularidad se suaviza a lo largo del siglo XVI, donde la década de menos años con información (6) es la cuarta, y prácticamente desaparece a lo largo del siglo XVII, donde hay noticias en 95 de los 100 años posibles.

Dada la irregularidad de la distribución espacio-temporal de las noticias en el siglo XV, en lo que sigue nos centraremos en el estudio de los fenómenos ocurridos a lo largo de los siglos XVI y XVII. El interés climático de este periodo de 200 años reside, como ya hemos mencionado, en que se supone la irrupción de la Pequeña Edad de Hielo hacia mediados del siglo XVI (Lamb, 1977; Font Tullot, 1988). Nos permitirá, pues, estudiar cómo se manifestó este proceso de cambio climático natural en Andalucía. Además, los últimos años del periodo coinciden con el denominado "mínimo Maunder" del registro de manchas solares (Schönwiese, 1978), lo cual nos posibilitará aproximarnos a un tema controvertido en la literatura especializada (Reid, 1993; Schröder, 1993): la posible relación entre clima y variabilidad solar.

La distribución porcentual de meses, estaciones y años con noticias aconseja un estudio en el que la unidad de tiempo sea el año. Podemos preguntarnos si el empleo del año como unidad temporal es una elección adecuada. En su análisis del periodo 1956-1986, Font Tullot (1988) establece que este periodo puede constituir un periodo de cambio climático basándose en que sólo 2 de los 31 años considerados (1969 y 1976, un 6.5% de los años considerados) se vieron aparentemente libres de acontecimientos meteorológicos extremos. Font Tullot utiliza la frecuencia anual de fenómenos extremos como un indicador de la presencia de lo que llama "crisis climática", concepto con el que denomina los periodos de transición entre diferentes estados del sistema climático, es decir, los periodos de cambio climático.

Dado que el mayor volumen de noticias con que contamos corresponde a fenómenos extremos, parece legítimo estudiar, desde esta perspectiva anual, la evolución del clima en el periodo de interés. Nos interesará, por tanto, analizar la evolución interanual, o por décadas, de los fenómenos (y en especial de las precipitaciones), con el objeto de caracterizar climáticamente al periodo 1501-1700.

TABLA IV.3.2.- Número de meses, estaciones y años con noticias climáticas en las distintas regiones climáticas de Andalucía, correspondiente al periodo 1471-1500. Entre paréntesis, el porcentaje respecto al número total posible durante el periodo en estudio (360 meses; 120 estaciones; 30 años).

	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
Dic.	1	2	0	0	1	1	4
En.	1	2	0	1	3	1	7
Feb.	2	1	0	0	2	2	5
Mar.	1	0	0	0	0	1	2
Ab.	1	1	0	0	1	1	3
May.	1	2	0	0	0	0	3
Jun.	0	0	0	0	1	1	2
Jul.	0	0	0	0	1	2	3
Ag.	0	2	0	0	0	0	2
Sept.	0	2	0	0	0	0	2
Oct.	0	0	0	1	2	1	2
Nov.	1	1	0	0	0	1	3
Total meses	8 (2.2)	13 (3.6)	0 (0)	2 (0.5)	11 (3)	11 (3)	38 (10)
Inv.	3	4	0	2	5	3	10
Prim.	1	3	0	0	1	2	6
Ver.	0	3	0	0	5	3	9
Ot.	1	2	1	2	2	2	7
Total est.	5 (4.2)	12 (10)	1 (0.8)	4 (3.3)	13 (10.8)	10 (8.3)	32 (10)
D8	4	2	0	0	1	0	6
D9	1	7	1	3	9	5	10
D10	0	0	0	1	2	3	4
Total años	5 (16.6)	9 (30)	1 (3.3)	4 (13.3)	12 (40)	8 (6.7)	20 (67)

TABLA IV.3.3.- Distribución temporal de las noticias climáticas correspondiente al siglo XVI. Entre paréntesis, el porcentaje respecto al número total posible durante el periodo en estudio (1200 meses; 400 estaciones).

	Global	R-1	R-2	R-4	R-5	Total
Dic.	2	4	0	9	3	18
En.	6	13	1	8	2	23
Feb.	5	7	0	2	2	12
Mar.	5	10	0	3	1	17
Ab.	4	6	2	5	0	17
May.	1	6	1	6	2	12
Jun.	1	1	0	6	1	6
Jul.	1	1	0	2	0	4
Ag.	1	0	0	2	1	3
Sept.	3	4	0	2	2	7
Oct.	1	4	0	4	4	10
Nov.	2	4	1	2	2	9
Total meses	32 (2.7)	60 (5)	5 (0.4)	51 (4.3)	20 (1.7)	138 (12)
Inv.	8	23	1	20	7	44
Prim.	8	17	2	14	3	34
Ver.	2	4	0	8	3	15
Ot.	4	15	1	10	6	24
Total est.	22 (5.5)	59 (14.8)	4 (1)	52 (13)	19 (4.8)	117 (29)
D1	4	6	1	6	2	8
D2	1	5	1	5	0	8
D3	4	6	0	6	6	10
D4	2	4	1	4	1	6
D5	3	6	1	6	3	9
D6	1	5	0	5	3	7
D7	3	6	1	5	5	10
D8	0	7	2	7	3	9
D9	3	8	6	8	0	9
D10	2	8	3	8	3	9
Total años	23	61	16	60	20	85

TABLA IV.3.4.- Distribución temporal de las noticias climáticas correspondiente al siglo XVII. Entre paréntesis, el porcentaje respecto al número total posible durante el periodo en estudio (1200 meses; 400 estaciones).

	Global	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	Total
Dic.	1	11	0	0	4	2	12
En.	2	24	1	0	13	7	31
Feb.	2	18	4	0	10	4	25
Mar.	0	19	6	0	6	3	29
Ab.	0	18	3	0	11	5	32
May.	0	19	2	1	9	1	28
Jun.	1	14	1	0	9	2	18
Jul.	1	4	1	2	5	0	7
Ag.	0	7	0	0	7	0	10
Sept.	0	3	0	0	9	9	14
Oct.	0	4	2	0	4	3	8
Nov.	0	5	3	0	4	2	14
Total meses	7 (0.6)	146 (12.2)	23 (1.9)	3 (0.3)	91 (7.6)	38 (3.2)	228 (19)
Inv.	9	36	7	0	20	11	50
Prim.	1	41	10	0	17	8	60
Ver.	3	21	2	3	19	2	32
Ot.	1	13	6	0	14	13	33
Total est.	14 (3.5)	111 (27.8)	25 (6.3)	3 (0.8)	70 (17.5)	34 (8.5)	175 (44)
D1	3	7	9	0	6	5	9
D2	2	5	10	0	8	4	10
D3	1	10	8	0	8	4	10
D4	2	7	9	0	6	3	10
D5	1	9	9	0	4	2	10
D6	4	9	2	0	0	2	9
D7	0	7	3	1	2	2	9
D8	3	7	5	1	2	3	9
D9	1	9	2	0	3	3	9
D10	0	10	1	1	3	1	10
Total años	17	80	58	3	42	29	95

No obstante, según Le Roy Ladurie (1983), el método más apropiado para los estudios de climatología histórica consiste en analizar la evolución estacional de los fenómenos. Los porcentajes de número total de estaciones del año con noticias son inferiores al 50%, por lo cual, el estudio de la distribución estacional de los fenómenos encontrados se realizará de forma cualitativa y el análisis estadístico se realizará teniendo en cuenta el año como unidad temporal.

4.4. Codificación de las noticias.

Una de las formas de analizar conjuntos no homogéneos y fragmentados de información consiste en transformar el material en índices numéricos estandarizados, previamente a la interpretación en términos de las variables meteorológicas estándar (Ingram et al., 1981; WMO, 1990). Es preciso, por tanto, establecer un código que permita el tratamiento de las informaciones de las fuentes documentales, su clasificación de la forma más objetiva posible, y que posibilite la construcción de secuencias homogéneas para su representación, facilitando así la interpretación de los datos (Pfister, 1981). La necesidad de establecer una amplia base de datos históricos para estudiar tanto la evolución temporal como la distribución espacial de los fenómenos ya ha sido reconocida por diversos autores, concretándose, por ejemplo, en la elaboración del Banco de Datos Euro-Climhist en la Universidad de Berna (Schwarz-Zanetti et al., 1992; Schüle y Pfister, 1992), o en el desarrollo de un banco de datos meteorológicos históricos en Japón (Murata, 1992).

Los registros del banco de datos deben contemplar la tipología de las fuentes (lo que denominamos "géneros historiográficos" en el Capítulo II de esta Memoria), la categoría de los indicadores climáticos y datos registrados, la forma en que estos datos fueron registrados y el sistema de datación empleado (WMO, 1990). Utilizando el programa dBASE III hemos elaborado una base de datos climáticos directos con la siguiente estructura:

AÑO,ESTACION,MES,DIA;REGION,LUGAR;FUENTE,PAGINA;CLAVES NUMERICAS
TEXTO

NOTA (opcional)

Los primeros cuatro campos recogen la información temporal, y permiten la especificación de la precisión temporal con que se da la noticia. Las claves son de carácter numérico, permitiendo así la reordenación cronológica de los registros a medida que se van incorporando nuevas informaciones a la base de datos. Para las estaciones del año los códigos son:

Invierno=1; Primavera=2; Verano=3; Otoño=4

Los meses se codifican del 1 al 12 comenzando por Enero y terminando en Diciembre. El invierno se identifica por el año en que cae el mes de Enero. Para evitar duplicidades no deseadas, se considera que el mes de diciembre corresponde al año del mes de Enero a cuyo invierno pertenece, es decir, Diciembre de 1536, por ejemplo, se asigna al año 1537. Todas las fechas se proporcionan en calendario gregoriano. Cuando existen dudas sobre la fiabilidad de la datación, se añade un símbolo "?" tras el dígito dudoso.

El campo REGION especifica la localización geográfica de los fenómenos, según la distribución geográfica discutida en la sección 4.2. Los códigos asignados son:

- R1 = Depresión del Guadalquivir y Sierra Morena.
- R2 = Litoral atlántico.
- R3 = Sierra de Grazalema, Cazorla y Sierra Nevada.
- R4 = Surco Intrabético.
- R5 = Costa Mediterránea.
- G = Andalucía en general.

El campo LUGAR indica la localización exacta del suceso, cuando se conoce. En un fichero aparte se recogen datos como coordenadas geográficas y altitud sobre el nivel del mar de cada uno de los lugares de los que hay noticias.

El campo FUENTE recoge información sobre la fuente y su tipología. El código utilizado es el recogido en el Apéndice I de esta Memoria. En él se indica abreviadamente el carácter de la fuente, seguido de un dígito que, dentro de cada género, identifica a la fuente concreta de que se trate. Tal y como discutimos en el Capítulo II, los géneros contemplados y sus códigos son los siguientes:

- AU = Anales Urbanos.
- HC = Historias de Ciudades.
- HG = Historias Generales.
- HR = Historias Religiosas.
- R = Relaciones, correspondencia, relatos de viajes.

A = Registros de la administración civil y eclesiástica.

P = Escritos protocientíficos, filosóficos y religiosos.

C = Compilaciones modernas.

En un fichero aparte se recoge la información bio-bibliográfica, del cual el Apéndice I de esta Memoria es un resumen, con información sobre los siguientes aspectos: fecha y lugar de nacimiento y muerte del cronista; lugar de residencia; profesión; datos de los que fue testigo directo; accesibilidad que tuvo a los datos originales; periodo cubierto por el texto; condiciones del manuscrito; método de datación empleado; modalidad de consulta (lectura completa de todo el texto, uso de índices analíticos de una edición crítica, etc.).

El campo TEXTO es un campo "memo" (Alonso, 1990) de extensión no limitada, donde en un fichero aparte se transcribe la noticia. Opcionalmente, se añaden notas a pie de página que aclaran algunos aspectos de la información, indican el folio o página del original de donde procede el texto, aluden a referencias bibliográficas, etc.

El campo CLAVES NUMERICAS proporciona hasta 4 códigos numéricos que sintetizan la información climática contenida en cada registro. A continuación pasamos a explicar las claves numéricas asociadas a las citas textuales. La codificación se realiza en términos del tipo de noticia y del impacto que los fenómenos meteorológicos tenían en la época en estudio. En primer lugar se indican las características de cada tipo, y luego se recogen, en cursiva, algunas de las palabras y expresiones más comunes dentro de cada clase. Algunas expresiones corresponden a distintas clases. En lugar de usar el análisis de contenidos basado en el estudio lingüístico de los textos, analizando raíces de palabras y distribución de verbos, adjetivos, nombres, etc. (Catchpole, 1992), la clasificación se ha realizado en función del tipo de fenómeno y de su impacto socioeconómico (Camuffo y Enzi, 1992), prescindiendo en la medida de lo posible del énfasis que los autores de las crónicas pusieron en sus descripciones. Finalmente, se indica allí donde existe un criterio de gradación, el valor del índice numérico (I) con que la noticia aportada caracteriza al periodo de tiempo (mes, estación o año) en que se produjo.

1. Precipitaciones

11. Tiempo muy seco

Situaciones de sequía con déficit de precipitaciones y mención explícita a desecación de ríos y manantiales. En estas situaciones faltaba el pasto para el ganado, no se sembraba el trigo, se realizaban misas, rogativas y procesiones, subían los precios del pan, etc.

gran seca, seca, falta de agua, esterilidad

I = -2

12. Tiempo seco

Similar al anterior, salvo que en estas situaciones nada se indica sobre déficit en la escurriencia de las aguas superficiales.

I = -1

13. Tiempo normal o no remarcable

O bien se menciona la lluvia en épocas del año normales hoy día, o bien se menciona como un suceso anecdótico o de escasa repercusión. Se aplica también a unidades de tiempo de las que no hay información, y que se supone no son especialmente remarcables.

llovía, llover moderadamente, llover razonablemente, tiempo no escaso de aguas, día sereno, tiempo asentado, abonando/mejorando algo el tiempo, tiempo lluvioso

I = 0

14. Tiempo húmedo

Lluvias intensas y/o continuadas que influyen de modo apreciable en la vida social, impidiendo procesiones, viajes, actos públicos, campañas militares, etc.

tiempo lluvioso, lluvias continuas, tiempo no escaso de aguas, llover mucho, llover muy continuamente, lluvia, tiempo áspero, habiendo sido tantas las aguas y tan continuas, las aguas empezaron temprano, tiempo aguanoso, rigor del tiempo

I = +1

15. Tiempo muy húmedo

Lluvias intensas y continuadas, acompañadas de inundaciones fluviales especialmente desastrosas. Se incluyen también lluvias torrenciales, granizadas y lluvias tormentosas

acompañadas de fenómenos de electricidad atmosférica.

grandes aguas, grandes lluvias, agua grandísima, llover muy continuamente, llover muy reciamente, inundación, avenida, creciente, gran inundación, turbión de agua, agua grandísima, grandísimo torbellino, gran tempestad, tormenta, tempestad, huracán, elementos alborotados, truenos y relámpagos, centellas, piedra, gran piedra, granizo

I = +2

2. Temperaturas

21. Tiempo frío

Heladas, nevadas, permanencia de la capa de nieve, frío impropio de la estación del año, etc.

muchos fríos, nieve, nieves, hielos, grandes fríos, tierra frígida, montañas ásperas, tiempo riguroso/áspero, lo más áspero del invierno, frío como por Enero, estío templado

I = -1

22. Tiempo normal o no remarcable

Descripciones de buen tiempo, de tiempo normal para la época del año, o bien se aplica para unidades de tiempo para las que no hay información.

día apacible, tiempo asentado y templado, aires templados, abonanzando algo el tiempo, templanza del aire, calores de los caniculares, calidad de la costa

I = 0

23. Tiempo caluroso

Informaciones sobre calor excesivo y/o a destiempo, cuyos efectos inmediatos son paralizar campañas militares, demorar viajes, normalmente asociado a la propagación de epidemias.

calores de los caniculares, calidad de la costa, tierra cálida, calor grande, grandes calores, aires ardientes

I = +1

3. Vientos

31. Dirección del viento

311. Información directa

Información sobre vientos específicos, locales, o expresamente relacionada con su dirección.

lestes, solanos, sereno, cierzo, vientos del Mediodía, vientos de Poniente, viento Norte

312. Información indirecta

Cuando, por ejemplo, se describe una ruta de navegación y desviaciones de la misma a causa del viento. En general, es preciso inferir la dirección predominante del viento a partir del contexto en el que se inscribe la noticia.

tiempo/temporal/viento contrario, tormentas que arrojan a las costas de..., echado por vientos contrarios, llevados/obligados por los vientos, vientos favorables, viento en popa

32. Intensidad del viento

320. Calmas

Noticias que describen la ausencia de vientos, o la interrupción de vientos favorables, lo cual provoca lentitud en las travesías, o paraliza acciones navales.

perfecta clama, falta de viento, tiempo contrario, no hacer aire

$I = 0$

321. Vientos moderados

Noticias que aluden a las buenas condiciones climatológicas para la navegación, o a la existencia de vientos no desastrosos.

feliz/favorable navegación, arribar felizmente a puerto, apacible temporal, viento muy favorable/próspero, mar tranquilo, estación oportuna para navegar

$I = +1$

322. Vientos fuertes

Noticias sobre vendavales, rachas de viento que destrozan cosechas y asolan ciudades, retraso de viajes, desviación de naves de su ruta, barcos obligados a refugiarse en puerto, flotas que se dispersan, naufragios, etc.

tiempo/temporal recio, tormenta/tempestad recia/cruel/horrible/furiosa/atroz/horrorosa/muy brava, mar tempestuoso/hinchado/ enfurecido/gruesa/alta/cerrado, infortunios del mar, tiempo/ temporal/viento contrario, invencible fuerza de los vientos, intemperie del cielo, borrasca, borrasquilla, cargar el tiempo, tiempo no favorable, estación inoportuna para navegar, navegación desgraciada, viento arrebatado/violento/grande, aires recios, sobrevienta muy brava

I = +2

4. Nubosidad

40. Cielos despejados

día apacible y sereno, cielo claro y sereno, cielo de bronce, tiempo asentado, alegre templado y saludable cielo, tan de diamante el cielo

I = 0

41. Nubosidad

nube, nube negra, oscuridad, niebla, neblina

I = +1

La elaboración de un catálogo de palabras y expresiones claves asociadas a cada categoría permite una mayor uniformidad de la clasificación a medida que se añaden nuevos registros, y facilita la interpretación de nuevos datos. No obstante, puede comprobarse que algunas expresiones pertenecen a categorías diferentes, por lo que este criterio no se ha seguido de forma rigurosa, sino en conjunción con una lectura de todo el texto y su interpretación en términos de los efectos de los fenómenos.

El énfasis dado por el observador induce a error y necesita ser complementado con otros tipos de información "proxy" (Schwarz-Zanetti et al., 1992). Esto ocurre particularmente en el caso de las temperaturas, donde el grado de apreciación subjetiva es mucho mayor que en el caso de las precipitaciones (Mock, 1991). Esta es la razón por la que en lugar de 5 categorías como para las precipitaciones, se han distinguido sólo 3 en el caso de las temperaturas. Las dudas sobre la fiabilidad de la asignación del código se reflejan con un símbolo "?" detrás del código dudoso.

En cuanto a la asignación de los índices numéricos I, se ha buscado el mayor grado de objetividad posible. Así, en el caso de las precipitaciones, la distinción de las clases 11 ($I=-2$) y 12 ($I=-1$) se basa en la distinción entre "sequía hidrológica" y "sequía meteorológica". En la primera, al déficit de precipitaciones hay que añadir el déficit en algún otro elemento del ciclo hidrológico, siendo el más obvio y directamente observable por los cronistas la escorrentía superficial. La sequía meteorológica, por otro lado, sólo se basa en el déficit de precipitaciones (Ogallon y Gjeckor-Kove, 1989). Idéntico razonamiento se aplica al caso opuesto, en la hipótesis de que los recursos de la ingeniería de la época eran insuficientes para combatir el peligro de las inundaciones. El error inducido por la apreciación subjetiva del fenómeno puede afectar en todo caso al valor absoluto del índice (por ejemplo, asignar un valor del índice -2 en lugar de -1), pero no al signo del mismo (índice positivo o negativo). Una clasificación similar de las noticias sobre precipitaciones ha sido llevada a cabo por Wang y Zhao (1981) en su estudio sobre sequías e inundaciones en China en el periodo 1470-1979. Lamb (1977) cita asimismo la clasificación de Taulis para lluvias invernales en Santiago de Chile, que también establece 5 clases para los tipos de lluvia. El índice mensual de humedad de Pfister (1981) para Suiza sólo establece tres categorías, húmedo, normal y seco.

La pretensión de objetividad se ha seguido también en el resto de noticias. Para las temperaturas, los valores negativos del índice están basados fundamentalmente en informaciones sobre nevadas, heladas y referencias al tiempo demasiado frío para determinada estación del año. Las referencias a calor excesivo durante el verano se han codificado como 22 ($I=0$), pero igual expresión aplicada a cualquiera otra estación del año se ha clasificado como 23 ($I=+1$). Esta codificación coincide con la de Pfister (1981) para Suiza, quien distingue entre meses cálidos, normales y fríos.

En cuanto al régimen de vientos, la mayor parte de la información está relacionada con la navegación marítima, como es lógico dado el sistema de navegación a vela imperante en la época. No obstante, presentan mucho interés las informaciones sobre "huracanes" sobre todo relativas a Cádiz y Sevilla. La asignación de hasta 4 claves numéricas a cada noticia permite especificar el carácter de los cuatro tipos principales de noticias asociados a cada registro.

El uso del programa dBASE III (o de cualquiera de sus versiones ampliadas) permite la clasificación de noticias por regiones, tipo de fenómeno y precisión temporal, la ordenación cronológica y la elaboración de estadísticas simples como el cálculo del número de casos para cada categoría. En el Apéndice I se muestran varios ejemplos de los 1300 registros que se han obtenido de las fuentes consultadas. Los criterios seguidos en el estudio de la distribución espacio-temporal de estos registros han reducido este número a un total de 695 noticias **diferentes** correspondientes a los siglos XVI y XVII.

4.5. Temperaturas.

En la sección 4.2 vimos que las noticias sobre carácter térmico constituyen para toda Andalucía un 13% del total en el siglo XVI y un 15% en el XVII. Porcentajes inferiores se observan para todas las regiones, excepto en la región R-5 en el siglo XVI (21.2%) y en la R-1 en el siglo XVII (21.6%). En el siglo XVI sólo contamos con 22 años con informaciones de carácter térmico relevantes, y en el siglo XVII con 30 años. Estos bajos porcentajes en la distribución espacio-temporal de las noticias sobre carácter térmico, en comparación con las noticias sobre precipitaciones, nos llevaron a establecer la hipótesis del papel secundario de las temperaturas en los fenómenos de cambio climático en Andalucía.

Por otro lado, las apreciaciones sobre el carácter térmico presentan un alto grado de subjetividad por parte del observador, y sólo son fiables cuando se relacionan con sucesos meteorológicos extremos, tales como tormentas severas u olas de calor (Mock, 1991). En el caso de condiciones frías, caracterizadas por hechos objetivos como heladas o nevadas, tenemos una mayor seguridad respecto a la definición del carácter de las noticias. Esto puede llevar a crear una falsa impresión respecto a un posible predominio de extremos fríos en la época. El problema se complica si tenemos en cuenta además la precisión temporal variable con que se aportan las noticias.

En consecuencia, la serie de datos directos de carácter térmico con que contamos debe considerarse incompleta, con muchos huecos, lo cual desaconseja un estudio estadístico exhaustivo de estas informaciones (Pavese et al., 1992). No obstante, dado el importante papel de la temperatura en todos los estudios de cambio climático, abordamos en esta sección una primera aproximación a las informaciones históricas de carácter térmico. La información más fiable sobre las temperaturas en la época de estudio vendrá dada por datos indirectos, algunos de los cuales ya estudiamos en el capítulo anterior de esta Memoria.

El procedimiento seguido en el estudio comienza por la codificación de las noticias en tres categorías, y la asignación de un índice numérico al mes, estación o año dotados con noticias según vimos en la sección anterior. En todas las estaciones para las que hay información mensual, ésta se limita a un sólo mes de la estación correspondiente, salvo en

un caso (invierno de 1569) en el que tenemos información de Diciembre y Enero con el mismo signo. Predominan las informaciones estacionales, y sólo tenemos 4 años con precisión anual (1556, 1572, 1587 y 1617). Esta distribución temporal de las noticias térmicas nos ha llevado a clasificar las noticias por estaciones del año, y a asignar los valores del índice -1, 0, +1 a las estaciones consideradas, respectivamente, como frías, normales o cálidas. Los inviernos, como ya hemos indicado, se designan por el año en el que cae el mes de Enero. El mes de Diciembre se asigna al año a cuyo invierno pertenece.

El bajo número de noticias nos ha obligado, en un intento de evitar una mayor dispersión de las informaciones, a considerar el conjunto de Andalucía, sin distinguir entre las distintas regiones climáticas. El mayor número de informaciones para ambos siglos corresponde a la región R-1 (35), seguida por la R-4 (18), por las noticias que generalizan para toda Andalucía (16), la región R-5 (7) y, finalmente, la R-3 (1). En los 15 casos en que contamos con noticias de diferentes regiones, eran todas del mismo signo.

En la Tabla IV.5.1 se muestra la distribución de noticias térmicas con un valor del índice $I \neq 0$ para las cuatro estaciones del año. Los aspectos más destacables de esta tabla son el predominio de las anomalías negativas sobre las positivas, y del invierno sobre el resto de las estaciones del año. Dada la escasez de noticias no es posible inferir de esto unas condiciones climáticas especialmente frías en la época de estudio. Los cuatro años para los que las noticias tienen precisión anual han sido asignados al invierno dado el predominio de las informaciones térmicas en esta estación (están marcados por el símbolo "?"). Si comparamos estas noticias con los resultados procedentes del análisis de los datos indirectos (Capítulo III), podemos llegar a resultados interesantes. En el análisis de estos datos utilizábamos a efectos de interpretación informaciones directas, con lo cual podría plantearse un problema de circularidad. Sin embargo, entonces sólo buscábamos noticias directas coincidentes con las indirectas y, además, nos basábamos en resultados procedentes del análisis de las relaciones entre clima y nevadas, langosta y agricultura en la actualidad. Ahora realizamos un estudio independiente de las informaciones directas, y sólo a posteriori buscamos correspondencia con las conclusiones de entonces.

TABLA IV.5.1.- Distribución estacional de las principales anomalías térmicas en Andalucía, durante los siglos XVI y XVII.

Indice	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
+1	1516,1541	1557,1570 1589	1557,1570 1574,1635 1637,1650 1656,1670 1683	
-1	1505,1508 1511,1527 1540,1556? 1568,1569 1570,1572? 1573,1586 1587?,1589 1590,1600 1604,1605 1606,1610 1616,1617? 1622,1625 1636,1637 1641,1644 1657,1658 1659,1669 1694	1549,1618 1641,1647 1649,1650 1694	1619,1690	1562,1621 1626,1628

Al estudiar el comercio de la nieve, vimos una clara tendencia creciente en la evolución del impuesto por este comercio a lo largo de la segunda década del siglo XVII. Esta tendencia nos servía entonces para establecer la hipótesis de un aumento a lo largo de la década de las precipitaciones en forma de nieve y las condiciones térmicas frías en las zonas montañosas. Aunque las referencias a noticias térmicas directas en la región R-3 prácticamente no aparecen, es evidente que unas condiciones globales más frías se dejarían sentir también en esta región. De hecho, en nuestro registro, los inviernos de 1610, 1616 y 1617, la primavera de 1618 y el verano de 1619 aparecen con un valor negativo del índice, lo cual parece corroborar las hipótesis enunciadas.

La comparación con la frecuencia de plagas de langosta resulta más problemática, puesto que, como vimos, los fríos intensos del invierno no impiden el desarrollo de la plaga, sino que tan sólo lo retrasan. Sin embargo, la aparición de largos periodos con ausencia de la plaga nos llevaba a inferir la posibilidad de que estos periodos fueran fríos y con escasa presencia de vientos procedentes del sur. Dos fases frías se inferían de las noticias sobre

plaga de langosta. La primera comprendía el periodo 1554-1581. En este periodo hemos encontrado 6 años con índice de invierno negativo, 1556, 1568, 1569, 1570, 1572 y 1573; y un año con índice de otoño negativo, 1562. La segunda fase fría comprende los años 1634-1669. En este periodo el número de inviernos con índice negativo es de 8, correspondientes a los años 1636, 1637, 1641, 1644, 1657, 1658, 1659 y 1669. Las primaveras con índice negativo corresponden a los años 1641, 1647, 1649 y 1650. La ausencia de la plaga estos años podría estar relacionada con la frecuencia de vientos meridionales del norte o del oeste, en detrimento de los vientos de componente sur, lo cual concuerda con los tipos de circulación causantes de las nevadas en la región R-3, y se reflejaría en una evolución favorable del comercio de la nieve. Por otra parte, ninguno de los años que inferíamos como de inviernos suaves a partir de las noticias sobre la persistencia de la plaga, aparece en la Tabla IV.5.1 con un valor negativo del índice, lo cual, al menos, evita el problema de la aparición de posibles contradicciones.

La comparación con los datos de producción agrícola resulta la más problemática de todas, dada la no-linealidad de la respuesta de la planta a los fenómenos meteorológicos. Sin embargo, coincidiendo con la fase fría 1634-1669, encontramos una clara tendencia descendente en la producción agrícola en Sevilla (Figura III.4.4), y la sucesión de fríos inviernos en los primeros años del siglo XVII coincide con un mínimo destacado en la serie del diezmo del trigo sevillano (Figura III.4.1).

Aproximadamente la mitad de los años considerados encuentran una buena correspondencia con las inferencias de los datos indirectos. Dado el diferente carácter de los distintos tipos de datos, una correlación estadística es por el momento imposible de obtener. Sin embargo, es posible comparar los resultados generales obtenidos por cada tipo de dato. Los datos de la Tabla IV.5.1 parecen indicar una mayor frecuencia de inviernos fríos (o con presencia de anomalías térmicas negativas) desde mediados del siglo XVI hasta mediados del XVII, en comparación con los periodos previo y posterior. El comienzo de este periodo más frío hacia la mitad del siglo XVI viene también indicado por las noticias indirectas, como se indica en la sección 3.5.

Un criterio de validación adecuado viene proporcionado por la comparación con las

noticias procedentes de otras zonas. Las zonas elegidas para la comparación son la Meseta castellana y el litoral mediterráneo de la península, desde Cataluña hasta Murcia (fuente C-2). Font Tullot proporciona los datos de forma cualitativa, estableciendo en ocasiones generalizaciones sobre el carácter de una década o un grupo de años particular. Sólo hemos utilizado para la comparación aquéllas noticias bien fechadas y localizadas relativas a nevadas, heladas, congelación de ríos y olas de frío, y aquéllas que hacen referencia a olas de calor, cosechas o floración temprana de las plantas, e inviernos templados. A las primeras se les asignaría el índice -1 en nuestro código, y a las últimas el índice +1.

Para la Meseta, Font Tullot proporciona información correspondiente a 30 años, y para Cataluña y el litoral mediterráneo, 51 años, dentro del periodo comprendido por los siglos XVI y XVII. En 10 años se producen coincidencias entre Andalucía y la Meseta; y en otros 10 años entre Andalucía y la costa mediterránea.

Los años de coincidencia con las noticias de la Meseta son 1505, 1511, 1568, 1606, 1616, 1626, 1644, 1657, 1658 y 1659. Todos estos años se caracterizaron por inviernos fríos con heladas y nevadas en la Meseta y en Andalucía, salvo 1626, en el que la anomalía térmica negativa corresponde al otoño. Respecto a la costa mediterránea, los años de coincidencia son 1573, 1568, 1589, 1590, 1600, 1610, 1621, 1622, 1625 y 1694. Salvo en 1621, en que la anomalía negativa corresponde para Andalucía al otoño y para la vertiente mediterránea al verano y el otoño, el resto de los años tenemos anomalías negativas en el invierno. El predominio de noticias relativas al invierno es claro, por lo cual el análisis debe centrarse en esta estación. En la Tabla IV.5.2 se muestra el número de inviernos con valor negativo del índice contabilizados en Andalucía, la Meseta y el litoral mediterráneo, para los cuatro periodos de 50 años que componen el registro completo.

De los datos de esta tabla se infiere, en primer lugar, que la primera mitad del siglo XVII registró en las tres regiones un mayor número de anomalías negativas. En Andalucía y en la costa mediterránea esta fase había comenzado ya de hecho en la segunda mitad del siglo XVI, caracterizándose el periodo 1550-1650 como el más frío de todo el conjunto. Según Font Tullot

TABLA IV.5.2.- Número de inviernos con índice térmico $I=-1$ en Andalucía, la Meseta y el litoral mediterráneo (Costa Med.) durante los siglos XVI y XVII (para la Meseta y la costa mediterránea, datos tomados de Font Tullot, 1988).

Periodo	Andalucía	Meseta	Costa Med.
1501-1550	5	5	7
1551-1600	11	2	12
1601-1650	12	7	13
1651-1700	5	6	10

(1986, 1988) la Pequeña Edad de Hielo comienza en la Península Ibérica a principios del siglo XVI, pero se acentúa a partir de 1560, y las condiciones generales del siglo XVII serían similares a las de la segunda mitad del siglo XVI, especialmente en la primera mitad.

La distribución elegida, por periodos de 50 años, es totalmente arbitraria, y carecemos de un conjunto suficientemente homogéneo de datos para establecer conclusiones definitivas. No obstante, podemos comparar estos resultados con lo ocurrido en otras zonas de Europa. En sus estudios sobre las condiciones invernales en Venecia y el norte de Italia, Camuffo (1987) y Camuffo y Enzi (1992), dentro del periodo que estamos estudiando, establecen 21 años con anomalías térmicas invernales negativas. Sólo en 6 años coinciden con nuestros resultados, pero en el resto de los casos no se aprecian contradicciones demasiado graves (un invierno frío en Italia nunca coincide con uno cálido en Andalucía). Los años de coincidencia son 1511, que catalogan como "gran invierno" en el norte de Italia y "severo invierno" en Venecia; 1569, invierno severo en Venecia; 1570, severo en el norte de Italia con congelación de lagos y ríos; 1573, donde además se helaron plantas y murieron animales; 1600, severo en el norte de Italia; y 1605, invierno severo en el norte de Italia. La frecuencia de inviernos severos es mayor también en Italia en la segunda mitad del siglo XVI. Por otra parte, datos de anillos de árboles para Europa Occidental indican temperaturas frías durante las décadas de los 1560 y 1570 (Serre-Bachet et al., 1992).

Sin embargo, las condiciones no son similares en otras partes de Europa durante este periodo, con lo que la evidencia de un periodo de temperaturas frías durante la Pequeña Edad de Hielo generalizado en Europa no parece convincente (Jones y Bradley, 1992a). Dado el

carácter extremo de los datos recogidos y su dispersión, así como la aparición de anomalías positivas a lo largo de todo el registro, y en prácticamente todas las estaciones, podemos afirmar que, si hubo un periodo de enfriamiento, éste no fue monótono, sino constituido por intervalos más fríos o más cálidos. Además, se observa una gran variabilidad geográfica en las anomalías térmicas.

Esta variabilidad se manifiesta incluso a escala intra-anual en Andalucía, donde anomalías de signo opuesto aparecen en distintas estaciones de un mismo año. Así ocurre en 1570, 1589 y 1637, donde a un invierno con $I=-1$ suceden primaveras y/o veranos con $I=+1$; o en 1650, donde a una primavera con $I=-1$ sucede un verano con $I=+1$. Según Font Tullot (1988), esta alternancia pone en evidencia la sucesión entre invasiones de aire frío de origen euroasiático y de aire cálido de origen africano, indicando un predominio de la circulación meridional sobre la zonal.

Como principales conclusiones sobre el carácter térmico de la época en estudio podemos destacar las siguientes:

- El bajo número de noticias térmicas encontradas refleja el carácter secundario de la temperatura como indicadora de cambios climáticos en Andalucía, en comparación con las precipitaciones.

- Los datos recogen principalmente los extremos térmicos fríos (o anomalías negativas) ocurridos en la región con un claro predominio del invierno.

- Se detecta un posible periodo más frío, con mayor presencia de heladas y nevadas en la región, que comenzó a mediados del siglo XVI y terminó a mediados del siglo XVII.

- Los datos concuerdan, en líneas generales, con los resultados obtenidos de datos indirectos (comercio de la nieve, plaga de langosta, producción agrícola) y de datos de otras regiones, tanto en la Península Ibérica (Meseta, costa mediterránea) como en otras partes de Europa (Norte de Italia).

4.6. Precipitaciones.

4.6.1. Índice de precipitación anual.

Las observaciones sobre precipitaciones son indicadores climáticos más fiables que otros datos descriptivos del tiempo, ya que una descripción de precipitaciones, si la noticia es fiable, muestra concluyentemente que tal suceso ocurrió (Mock, 1991). En secciones anteriores hemos visto el papel destacado de las precipitaciones en el registro completo, con un porcentaje del orden del 70% respecto a la totalidad de las noticias encontradas, tanto en el siglo XVI como en el XVII, y para todas las regiones climáticas establecidas. Es pues, el análisis de las precipitaciones la fuente de información más segura sobre el comportamiento del clima en la época de estudio. La distribución temporal de las noticias nos permite afirmar que los principales fenómenos extremos pluviométricos de la época están contemplados en nuestra serie de datos. Para la distribución espacial de las noticias hemos seguido los criterios establecidos en la sección 4.2, considerando, desde un punto de vista pluviométrico, dos regiones, la región SW (R-1+R-2) y la región M (R-4). El análisis global para toda Andalucía tiene en cuenta el conjunto de todas las regiones climáticas definidas.

Una aproximación sistemática para el análisis de conjuntos no homogéneos y fragmentados de información es transformar el material en índices numéricos (Ingram et al., 1981). Este fue el objetivo de la codificación establecida en la sección 4.4. Sin embargo, la clasificación es aplicable a noticias de diferente precisión temporal, y, con el objeto de tener una serie homogénea de datos, es preciso construir un índice que refleje las condiciones de un periodo de tiempo fijado previamente. Ya hemos visto que este periodo (o unidad temporal para el análisis estadístico) es el año. En consecuencia, la variable climática que vamos a estudiar es el total de precipitación anual.

Para el diseño del índice de precipitación anual son posibles varias alternativas, que podemos denominar índices de "diferencia", de "proporcionalidad" y "racional". Los índices de diferencia consisten en contar el número de noticias de distinto signo registradas en el intervalo elegido de un año. Si sólo registramos inundaciones (R) y sequías (S), este índice sería, simplemente,

$$I=R-S$$

Este método es deficiente, ya que el número de sucesos recogidos de cada tipo puede no ser igual al real (Gaofa Gong y Hameed, 1991). El índice de proporcionalidad tendría en este caso la forma

$$I=\frac{S}{R}$$

pero este índice plantea problemas cuando $R=0$ ó $R \ll S$. Una definición de índice más estable, que elimina hasta cierto punto los efectos de diferentes ritmos de registro de S y R en diferentes periodos, es el índice racional de Brooks (1949), definido para derivar las condiciones de humedad en Inglaterra y Europa a partir del año 100 a.C., válido para intervalos de 50 años, y dado por

$$I=\frac{100R}{R+S}$$

Los índices de diferencia son bastante sensibles a la aparición de huecos, mientras que los índices racionales muestran menos sensibilidad a las incertidumbres en la percepción y/o frecuencia real de los extremos (Ingram et al., 1981). El índice de Lamb (1967) de humedad del verano, diseñado para estudiar las fluctuaciones climáticas en Europa Occidental, consiste en asignar el valor 0 a los meses inequívocamente secos, 1/2 a los meses normales o sin noticias, y 1 a los meses inequívocamente húmedos. Posteriormente se suma el valor de los índices de todos los meses dentro de un periodo de 10 años. Lamb encuentra que los valores de década cubren en Europa un intervalo que va desde el valor 4 hasta 17. Si siguiéramos el mismo procedimiento con nuestro índice, dado que usamos valores positivos y negativos, estaríamos diseñando un índice de diferencia. Es necesario, por tanto, buscar un método diferente, que contemple la diversidad espacio-temporal de las noticias registradas, y permita la obtención de un registro uniforme.

En primer lugar, establecemos un índice mensual, I_m , que asigna un valor numérico comprendido entre -2 y +2 a cada mes con noticias del periodo estudiado. En segundo lugar, se establece un índice estacional, I_e , promediando entre el número n_m de meses con noticias,

$$I_e = \frac{\sum I_m}{n_m}$$

Finalmente, el índice anual se obtiene promediando según el número n_e de estaciones con noticias,

$$I_a = \frac{\sum I_e}{n_e}$$

De esta forma podemos comparar noticias dadas con precisión temporal diferente. Por ejemplo una noticia estacional, a la que se asigna directamente el valor I_e , con un conjunto de noticias correspondientes a varios de los meses de esa estación. Además, la interpretación del carácter del índice es inmediata, puesto que al promediar, los valores del índice irán comprendidos entre -2 y +2, sea cual sea el carácter (mensual, estacional, anual) del índice. Por otra parte, el índice así definido es un índice racional, y por tanto más robusto a posibles incertidumbres en los datos. De esta forma se consigue superar el problema de la heterogeneidad temporal en el conjunto de los registros.

Persiste, no obstante, el problema de la heterogeneidad en la distribución espacial de las noticias. Con las precipitaciones, las series más homogéneas son las medias regionales, con tal de que el índice regional se construya de modo que sea relativamente insensible a cambios en los lugares de observación o a pérdidas de datos (Mitchell, 1969). El índice mensual de una región I_m se obtiene promediando entre los valores del índice asignados a cada uno de los lugares de los que hay noticias. De esta forma se suaviza el efecto de fenómenos estrictamente locales que pudieran sobreestimar o subestimar las condiciones de una región entera. El mismo procedimiento de promedio se sigue luego para establecer el índice estacional I_e , y, finalmente, el índice anual I_a . Las noticias dadas con cobertura espacial general, cuando suplen huecos, se asignan al carácter del mes/estación/año de todas las regiones. Si ya han sido recogidas en alguna región, se respeta en principio el valor del índice establecido independientemente para la región. Si existe contradicción, se rechaza la noticia menos fiable y contrastada, y si ambas son de fiabilidad similar, se rechaza la noticia de menor detalle espacio-temporal.

Usando este método de promedio espacio-temporal, hemos elaborado los índices de precipitaciones correspondientes a las regiones SW, M y a la totalidad de Andalucía, que se reproducen en el Apéndice III. Los valores positivos del índice indican condiciones de humedad y los valores negativos condiciones de sequedad dominantes durante ese año. El valor 0 puede reflejar, o bien condiciones de normalidad, es decir, ausencia de fenómenos extremos destacables ese año, o bien aparición de extremos de signo opuesto en distintas estaciones del año, lo cual sería indicativo de variabilidad intra-anual. Nuestro objetivo, sin embargo, es el análisis de las precipitaciones totales anuales, y el estudio de la variabilidad inter-anual de esta variable, por lo que esta incertidumbre en la interpretación del valor nulo no representa un problema. No obstante, en el Apéndice II se recogen también los índices estacionales, cuyo estudio se realizará en la sección 4.6.9, aunque de forma más limitada dada la menor proporción de estaciones con noticias (Tablas IV.3.1-4).

La representación gráfica del valor del índice en función del año al que se asigna constituye la serie temporal básica para el estudio estadístico de la evolución del clima en la época de interés. En las Figuras IV.6.1.1, 2 y 3, se reproducen las series temporales correspondientes a la región M, la región SW y Andalucía, respectivamente. La simple inspección visual de estas gráficas nos permite establecer una gran variabilidad interanual como rasgo más característico, lo cual es lógico dada la naturaleza extrema de las noticias. El índice establecido se interpreta como una medida del comportamiento de las anomalías meteorológicas en la época de estudio.

La Tabla IV.6.1 muestra los principales parámetros estadísticos de las tres series. Si empleamos la media y la desviación típica como parámetros significativos, encontramos una ligera tendencia más húmeda de lo normal ($I > 0$) y una variabilidad menor en la región M que en la región SW, y mayor para toda Andalucía. En el estudio de las precipitaciones el uso de parámetros estadísticos como media, desviación típica o coeficiente de variación es inapropiado (Katz y Glantz, 1977). Se obtiene más información útil de las principales tendencias así como de la variabilidad de los datos mediante el análisis de la mediana o el rango intercuartílico, que nos dan una mejor idea respecto a lo que podemos considerar como normal en la serie a estudiar. La mediana nos informa de lo que era "normal" en la época de estudio. El valor 0 de la mediana y la moda para las tres series nos informa de que el

índice definido resulta apropiado como medida de las precipitaciones totales anuales.

TABLA IV.6.1.- Parámetros estadísticos del índice de precipitación anual para las regiones M, SW y el conjunto de Andalucía, periodo 1501-1700.

Parámetro	Región M	Región SW	Andalucía
Media	0.13	0.14	0.34
Mediana	0	0	0
Moda	0	0	0
σ	0.76	0.96	1
Error típico	0.05	0.07	0.07
1er. Cuartil	0	-0.75	-0.45
3er. Cuartil	0	1	1
Rango int.	0	1.75	1.45
Coef. sim.	3.31	2.15	0.44
Coef. Kurt.	2.43	-1.97	-3.02

El rango intercuartil es una útil medida del grado de dispersión de los datos originales, y de su variabilidad, al recoger el 50% de las observaciones y no tener en cuenta las observaciones individuales próximas a los extremos (Stringer, 1972). Mientras que en la región M el intervalo intercuartílico es 0, en la región SW es 1.75, siendo el primer cuartil -0.75 y el tercero 1. Esto indica una mayor variabilidad de las precipitaciones en la región SW. Para toda Andalucía, el intervalo intercuartil es algo menor que para la región SW, con un valor de 1.45.

En la Tabla IV.6.1 también se recogen los coeficientes estandarizados de simetría y kurtosis. El valor positivo del coeficiente de simetría indica que la "cola" superior de la distribución es más larga que la inferior, lo cual supone una mayor probabilidad de sucesos con un valor positivo del índice (es decir, anomalías húmedas). El valor positivo del coeficiente de kurtosis en la región M indica una cola muy aguda en torno a la moda, que en este caso coincide con la mediana, el primer y el tercer cuartil. El valor negativo en la región SW y para toda Andalucía indica colas cortas, con lo cual se reduce la probabilidad de los sucesos muy extremos. El valor no nulo de estos coeficientes nos indica además que

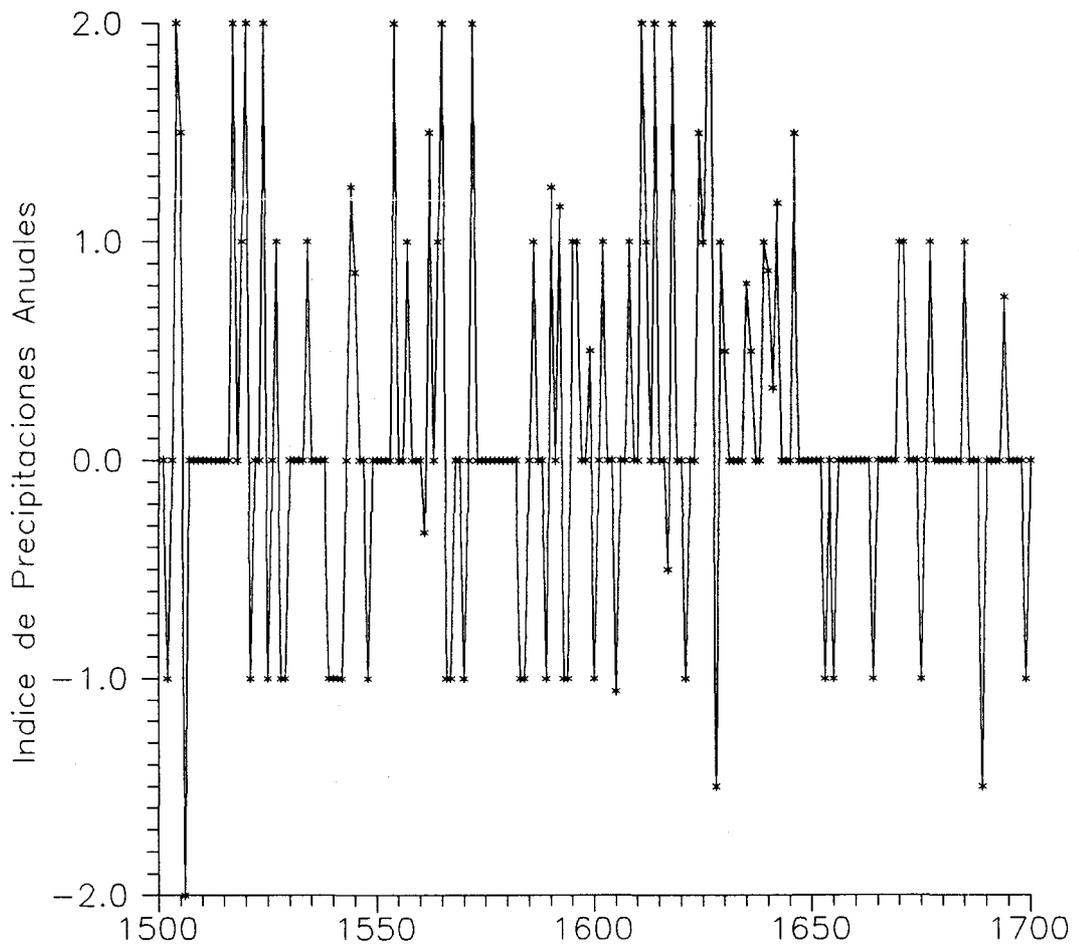


Figura IV.6.1.1.- Indice de precipitaciones anuales, región M, periodo 1501-1700.

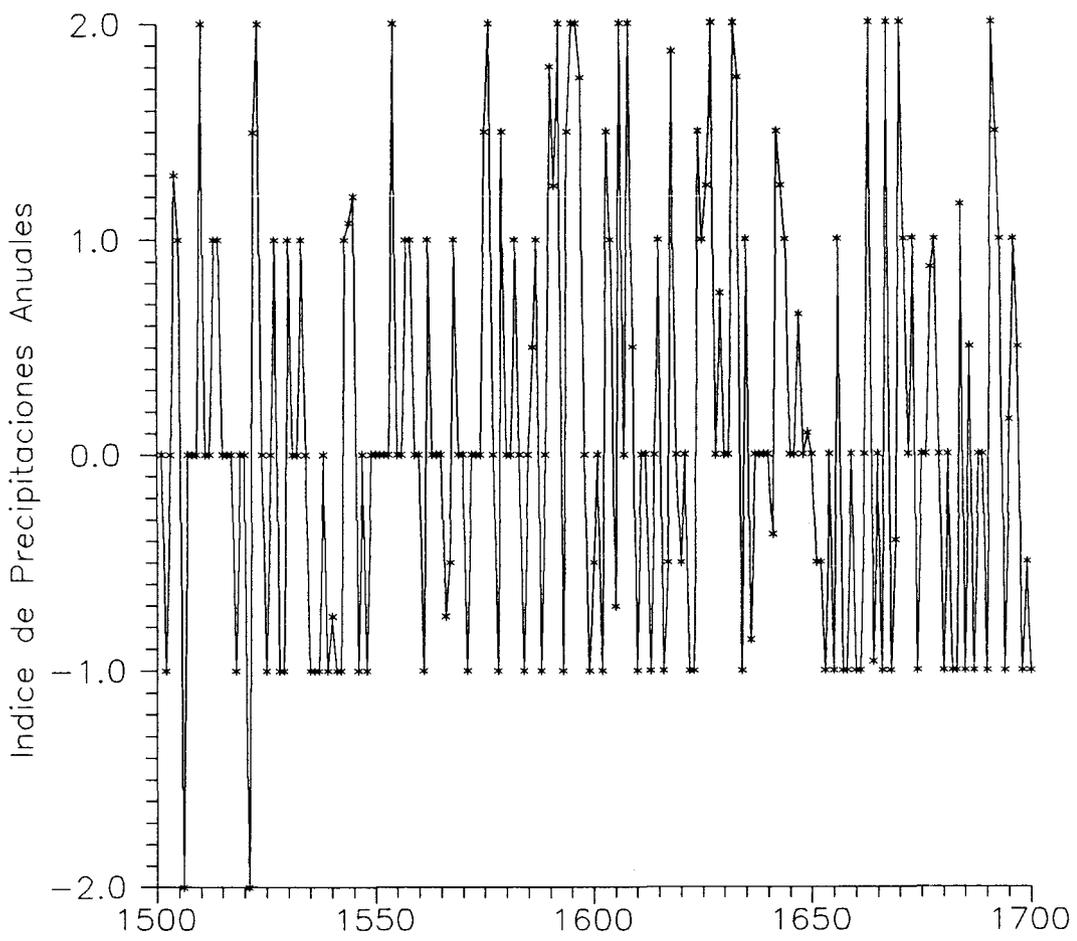


Figura IV.6.1.2.- Indice de precipitaciones anuales, región SW, periodo 1501-1700.

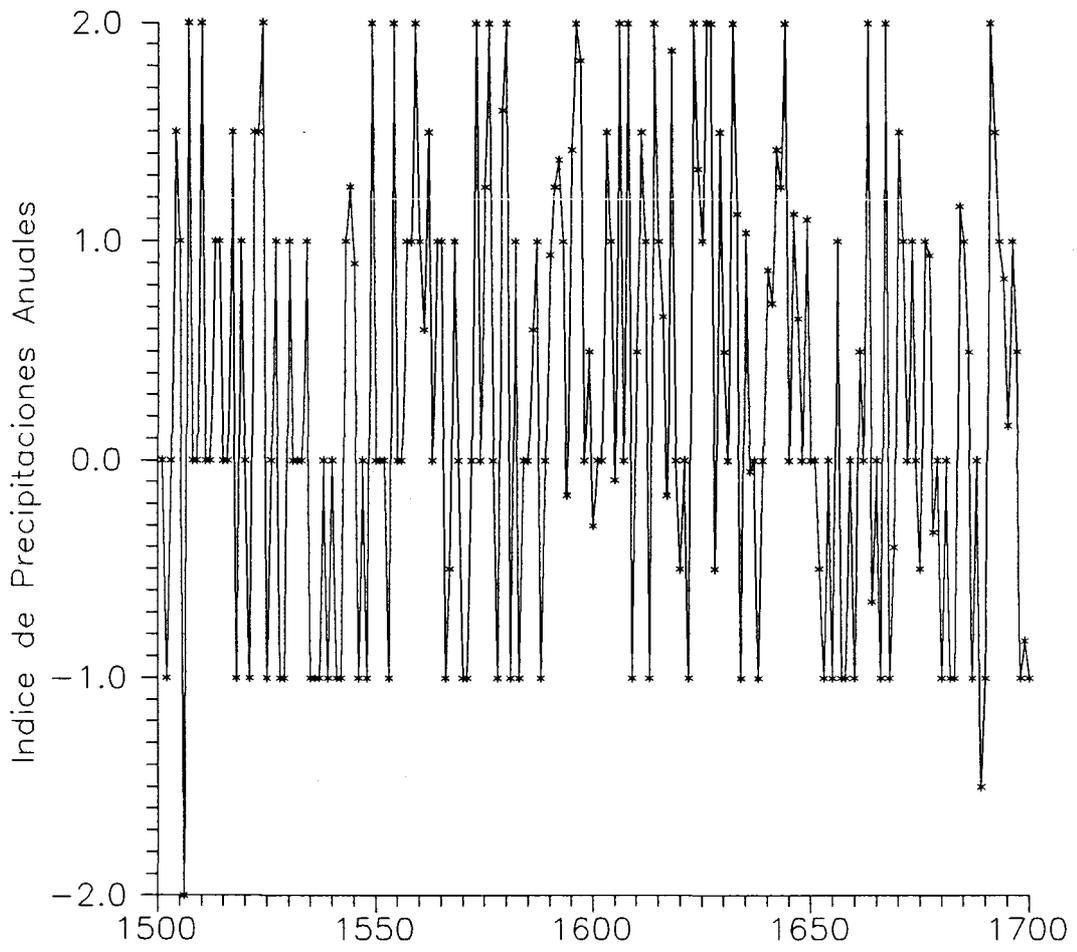


Figura IV.6.1.3.- Índice de precipitaciones anuales, Andalucía, periodo 1501-1700.

la distribución de los datos se desvía significativamente de una distribución normal. Será preciso tener en cuenta este resultado a la hora de afrontar el análisis estadístico de las series.

Una vez establecidas las series temporales básicas para el estudio de las precipitaciones, el primer paso es comprobar su homogeneidad, es decir, que el estudio de la distribución espacio-temporal y el procedimiento de indización proporcionan un registro uniforme. Para ello seguimos el test de aleatoriedad de sucesiones por encima y por debajo de la mediana (Ya-Lun Chou, 1972). Este test consiste en contar el número de secuencias (R) de valores por encima de la mediana, n_1 , y por debajo, n_2 . Para una serie aleatoria, el valor esperado de secuencias R es

$$E(R) = \frac{2n_1n_2}{n_1+n_2} + 1$$

y la varianza estimada es

$$V(R) = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1+n_2)^2(n_1+n_2-1)}$$

Se define el estadístico Z como

$$Z = \frac{|R - E(R)| - 0.5}{\sqrt{V(R)}} \quad R \geq E(R)$$

$$Z = -\frac{|R - E(R)| - 0.5}{\sqrt{V(R)}} \quad R < E(R)$$

Se compara el valor del estadístico Z con el valor de la variable reducida normal al nivel de probabilidad elegido. Para $\alpha=0.01$, este valor es 2.58. Si $Z > 2.58$, la serie no es homogénea. En nuestro caso, los valores de Z fueron 1.58, 0.11 y 1.03 para las series de Andalucía, la región M y la región SW, respectivamente. En consecuencia, las series con las que trabajamos son realmente homogéneas.

4.6.2. Análisis estadístico. Metodología.

En latitudes medias la evolución meteorológica está determinada por la sucesión de tipos de tiempo y las diferentes transiciones de un tipo a otro. El carácter aleatorio de los promedios mensual, estacional y anual de las observaciones resulta de la variabilidad de las frecuencias de ocurrencia de los tipos de tiempo, su duración y transiciones. Por lo tanto, la estabilidad del clima depende de la invarianza de las propiedades meteorológicas y de la estabilidad de las propiedades estadísticas de los tipos de tiempo y sus modos de transición. Una condición necesaria para la estabilidad del clima es la invariabilidad de las propiedades estadísticas de las series climatológicas, aunque no es condición suficiente pues la estabilidad también puede resultar de cambios compensatorios en las frecuencias de los distintos tipos de tiempo (Sneyers, 1992).

Las observaciones de nuestras series están distribuídas independiente e idénticamente, es decir, cada elemento de la serie se origina a partir de la misma distribución, y su ocurrencia no depende de ninguna condición preliminar. Se trata de series aleatorias simples, que, como hemos visto, se apartan de la distribución normal. En consecuencia, para el estudio de la estabilidad de las series, es necesario recurrir a la estadística no paramétrica. La ventaja de los métodos no-paramétricos o de libre distribución es que no dependen de la forma de las funciones de distribución, y utilizan la mediana como medida del centro de la población y el rango intercuartílico como medida de la dispersión de los datos (Mood y Graybill, 1970). Por otra parte, la estadística no paramétrica se ocupa básicamente de las relaciones ordenadas de los datos. Si los datos aparecen en forma de categorías, como es nuestro caso, donde tenemos índices establecidos a partir de una escala ordinal, proporcionan magnitudes relativas de la propiedad ordinal subyacente. En tal caso, los métodos no paramétricos requieren una teoría probabilística relativamente simple (Ya-Lun Chou, 1972). La existencia de tests no paramétricos que tienen una potencia muy próxima a la de los tests paramétricos, justifica ampliamente su uso (Sneyers, 1992).

Detección de cambios.

El término "cambio climático" es un término completamente general, que engloba cualquier forma de inconstancia climática, sin importar su naturaleza estadística o sus causas

físicas (Mitchell, 1969). El primer paso para la detección de cambios en las tres series que pretendemos analizar (índices de precipitación anual para las regiones M, SW y Andalucía) es el cálculo de las sumas acumulativas de desviaciones. El método consiste en calcular para cada elemento x_i de la serie de N términos, la desviación d_i , dada por la relación

$$d_i = x_i - m(x)$$

donde $m(x)$ es la media de los elementos de la serie. Se calculan posteriormente los valores de la suma

$$S_k = \sum_{j=1}^k d_j$$

y se representan en función de k , con $k=1,2,\dots,N$. En el caso de que existan dos subperiodos con un cambio significativo en sus medias, esto se refleja en un cambio de la pendiente de la progresión de los valores de S_k . Se denomina punto de cambio a aquel valor de k para el que $|S_k|$ es máximo (Bardossy y Caspary, 1990). Este método se ha encontrado útil para la detección de heterogeneidades en series climatológicas (Craddock, 1979), pues indica la posible existencia de cambios en los métodos de obtención de los datos climatológicos. Según Mitchell (1969), el uso de este método está justificado en el caso de series de lluvias o escorrentía, como es nuestro caso, en el que la alta variabilidad de la serie puede ocultar las tendencias a largo plazo. No indica nada, sin embargo, sobre el carácter del cambio ni sobre la estabilidad de la media antes y después del punto de cambio (Sneyers, 1992). La aplicación del método de las sumas acumulativas a nuestras series nos permitirá detectar la posibilidad de puntos de cambio en la serie. Ahora bien, el siguiente paso será verificar la existencia del cambio y detectar su naturaleza.

El método elegido para verificar la existencia de un cambio en nuestras series es el test t de Student para la diferencia entre las medias. Este test sirve para evidenciar un cambio en la media de un elemento climatológico dado, para dos periodos independientes de observación. El procedimiento consiste en comparar los valores medios de la serie en dos periodos diferentes del registro, antes y después de un posible punto de cambio. La ventaja de este test es que es aplicable a datos que poseen una distribución de frecuencia arbitraria

(Mitchell, 1969). Si x_1 y x_2 son las dos medias en cuestión, basadas en N_1 y N_2 datos, se calcula el estadístico t_d , definido por

$$t_d = \frac{x_1 - x_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\left(\frac{N_1 \sigma_1^2 + N_2 \sigma_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}}$$

donde $\mu_1 - \mu_2$ es la diferencia esperada según la hipótesis nula, que para el caso de aleatoriedad es igual a cero, y σ_1^2 , σ_2^2 son las varianzas de las muestras. En la hipótesis nula de aleatoriedad, la distribución de t_d sigue la t de Student para $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad. Si comparamos $|t_d|$ con los puntos de probabilidad al 95% de la distribución t de Student, ocurre que

$|t_d| > t \Leftrightarrow$ la diferencia entre las medias es evidencia de inconstancia o no-aleatoriedad.

Si como resultado de la aplicación de este test encontramos una diferencia significativa entre las medias, podemos estar seguros de atribuir esta diferencia a un proceso "no estacionario", o no-aleatorio (Mitchell, 1969). El test es igualmente sensible a todas las formas posibles de no aleatoriedad (tendencia, discontinuidad o fluctuación), así que el siguiente paso consistirá en determinar, si existe un cambio, cuál es su naturaleza.

Tendencias.

Entendemos por tendencia un cambio climático monótono creciente o decreciente del valor medio en el periodo del registro. No se restringe a un cambio lineal con el tiempo, pero se caracteriza por la presencia de sólo un máximo y un mínimo en los puntos extremos del registro. Hemos hecho uso de dos métodos para la búsqueda de tendencias. El primero es la aplicación del test de Kendall, el segundo la regresión lineal simple.

Para usar el test de Kendall sólo es necesario considerar los valores relativos de todos los términos de la serie x_i bajo análisis. Este test se basa en el hecho de que, bajo la hipótesis de clima estable, la sucesión de valores climatológicos debe ser independiente y la distribución de probabilidad debe ser siempre la misma (serie aleatoria simple). Sea una serie

x_i , $1 \leq i \leq N$, de N términos en la que intentamos detectar un cambio. Para cada término x_i , se calcula el número n_i de términos posteriores, cuyos valores sean mayores que x_i . Se calcula después la suma P , dada por

$$P = \sum_{i=1}^{N-1} n_i$$

Posteriormente se calcula el estadístico τ , definido por

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

τ se distribuye aproximadamente como una distribución gaussiana para $N \geq 10$, de valor esperado nulo y varianza igual a $(4N+10)/9N(N-1)$. El valor de este estadístico se compara con el valor de $(\tau)_t$, magnitud definida por

$$(\tau)_t = \pm t_g \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}}$$

donde t_g es el punto de probabilidad al 95% de la distribución normal. Es condición necesaria para que exista una tendencia definida que $|\tau| > (\tau)_t$ (Mitchell, 1969).

Si se elimina la hipótesis nula (aleatoriedad), queda abierta la cuestión sobre la clase de tendencia que ha ocurrido. Además, si la hipótesis nula no se elimina, puede ser también el resultado de tendencias compensatorias que ocurren dentro del periodo de observación (Sneyers, 1992). Un caso particular de tendencia es la tendencia lineal. Mediante un ajuste por mínimos cuadrados se puede realizar la regresión lineal

$$x_i = ai + b$$

con a , b constantes e i el año de observación. En caso de existencia de tendencia lineal, el coeficiente de correlación entre x_i e i ha de tener un valor significativo. La pendiente de la recta, interpretada como un cambio por año, es un estimador óptimo bajo la hipótesis de observaciones no correlacionadas (Bloomfield y Nychka, 1992). Otras formas de tendencias pueden simularse mediante el ajuste polinómico por mínimos cuadrados, pero en este caso, la interpretación física de los coeficientes de orden superior al primero no es tan clara.

Discontinuidades.

Otra posibilidad es la aparición de un cambio abrupto o una discontinuidad. Se define como un cambio abrupto y permanente el cambio durante el periodo del registro de un valor medio a otro (Mitchell, 1969). Ocurre cuando el test de tendencia global elimina la hipótesis nula y, al mismo tiempo, un punto divisor da lugar a dos series parciales estables. El punto divisor es un punto de cambio climático abrupto (Sneyers, 1992). La identificación de tal cambio se hace por medio de la versión secuencial del test no-paramétrico de Mann-Kendall, que parece ser el método más apropiado para analizar cambios climáticos abruptos en las series temporales climatológicas (Goossens y Berger, 1985).

Sea una serie x_i , $1 \leq i \leq N$, de N términos en la que intentamos detectar un cambio. Para cada término x_i se calcula el número m_i de términos que le preceden, tales que sean menores que x_i . Se calcula después la suma d_N ,

$$d_N = \sum_{i=1}^N m_i$$

Para un alto valor de N , bajo la hipótesis nula de ningún cambio, d_N se distribuye normalmente, con un valor esperado $E(d_N) = N(N-1)/4$ y una varianza $\text{var}(d_N) = N(N-1)(2N+5)/72$. La hipótesis nula se elimina para un alto valor del estadístico $u(d_N)$,

$$u(d_N) = \frac{d_N - E(d_N)}{\sqrt{\text{var}(d_N)}}$$

La versión secuencial se basa en el cálculo de todos los estadísticos $u(d_i)$, $1 \leq i \leq N$, donde $d_i = m_1 + m_2 + \dots + m_i$. La representación gráfica de este conjunto de todos los estadísticos $u(d_i)$ en función del tiempo se denota por C_1 . De esta forma se puede detectar un cambio en la serie temporal tan pronto como $u(d_i)$ se haga mayor que 1.96 para un nivel de significación $\alpha_0 = 0.05$.

Con el fin de localizar el comienzo del cambio, el mismo principio se aplica a la serie retrógrada, denotando la representación gráfica por C_2 . Ahora, para cada x_i se calcula el número m' de términos posteriores inferiores al valor de x_i . La intersección de las curvas C_1 y C_2 localiza el cambio, con tal de que esté situado entre los valores críticos del nivel de

significación. Este cambio, si existe, será un cambio climático abrupto (Gossens y Berger, 1985).

Fluctuaciones.

Se entiende como fluctuación climática cualquier forma de cambio sistemático, ya sea regular o irregular, a excepción de la tendencia y la discontinuidad. Se caracteriza por la presencia, al menos, de dos máximos (mínimos) y un mínimo (máximo), incluyendo los existentes en los puntos extremos del registro. La fluctuación es una oscilación si la variable tiende a moverse gradualmente entre sucesivos máximos y mínimos, y una vacilación si tiende a caer alternativamente alrededor de dos o más valores medios, y a derivar de un valor medio a otro a intervalos regulares (Mitchell, 1969).

El primer método que se ha seguido para el estudio de la variabilidad interanual de las series es la aplicación de la media móvil simple de 10 años. El propósito de este método es separar una "señal" hipotética del "ruido". Este método, que es el más antiguo usado para el análisis del clima, se aplica para la búsqueda de periodicidades. Si x_i , $1 \leq i \leq N$, es la serie de observaciones, con el fin de obtener una imagen de la variabilidad interanual, para cada observación x_i se calcula el valor y_i , dado por la relación

$$y_i = \frac{1}{n} \sum_{j=-n/2}^{n/2} x_{i+j}$$

siendo n la longitud de la media móvil. El propósito de las medias móviles es ajustar la serie de modo que las variaciones más lentas (o de mayor longitud) puedan revelarse más claramente. Si existen variaciones de largo periodo en la serie, este método puede ser bastante útil en ayudar a revelar su forma. El efecto de operar sobre una serie temporal mediante una media móvil simple consiste en reducir la amplitud de todas las variaciones de la serie original, excepto las más largas. Un resultado es exagerar las oscilaciones de largo periodo de tal forma que se manifiestan como ciclos prominentes. Esta tendencia puede introducir ciclos aparentes en series que carecen de ellos, en cuyo caso los ciclos detectados carecen de significado físico. Además, fluctuaciones inferiores a la longitud del periodo de la media móvil se eliminan completamente, y el procedimiento elimina los n primeros y los n últimos datos de la serie original. No obstante estos problemas, las medias móviles

constituyen un método práctico para ajustar series temporales y mostrar patrones cíclicos (Camuffo, 1984), y, de hecho, siguen usándose en los estudios climatológicos.

Puesto que las conclusiones basadas en el análisis de las medias móviles deben considerarse como dudosas (Sneyers, 1992), el procedimiento más fiable a seguir en el análisis de las series temporales es el cálculo del periodograma o espectro de potencia. El análisis del espectro de potencia se basa en la premisa de que las series temporales no están necesariamente compuestas de un número finito de oscilaciones, cada una con su correspondiente longitud de onda, sino más bien que consisten de un número virtualmente infinito de oscilaciones que cubren una distribución continua de longitudes de onda. El espectro, por tanto, proporciona una medida de la distribución de la varianza de una serie temporal en un dominio continuo de todas las posibles longitudes de onda desde una longitud de onda infinita (tendencia lineal) hasta la más corta longitud de onda que puede resolverse por un esquema de análisis armónico (dos veces el intervalo entre observaciones sucesivas en la serie).

Se calculan los espectros por el método de Blackman y Tukey (1958), siguiendo a Mitchell (1969) (Apéndice IV). Las estimaciones espectrales resultantes se ajustan por un filtro de tres pesos. Se acepta un continuo de ruido blanco o ruido rojo dependiendo del valor del coeficiente de autocorrelación de desfase uno. Los niveles de significado estadístico para cada espectro de potencia se determinan usando la distribución χ^2 tal como la describe Mitchell (1969).

Los valores numéricos precisos dependen de la longitud del registro analizado (que determina la resolución espectral), de modo que ciclos que tienen efectivamente la misma longitud pueden tener valores numéricos ligeramente distintos de un espectro a otro. Los datos se analizan para cada región, cubriendo el periodo entero, y luego dividiendo la serie en subseries parciales de 100 años, con el objeto de analizar si hay continuidad en el tiempo de las principales estimaciones espectrales significativas (Clegg y Wigley, 1984).

Variabilidad.

En lugar de o en adición a una inconstancia en la media, una fluctuación climática puede consistir en una inconstancia de la dispersión, en un cambio de la variabilidad climática. Ninguno de los métodos anteriormente descritos tiene la capacidad de medir la inconstancia en la dispersión de los datos y, además, los test de dispersión son extremadamente sensibles a la forma de la distribución de frecuencia. Así, por ejemplo, el test de constancia de la variabilidad de Bartlett sólo puede aplicarse cuando la distribución de los valores en la serie temporal puede confirmarse que es gaussiana (Mitchell, 1969). Ya hemos visto que nuestras series de datos se apartan considerablemente de la distribución normal, lo cual nos obliga a considerar el rango intercuartílico como la más eficaz medida de variabilidad. El estudio se hará comparando los valores de este parámetro para cada región y para diferentes periodos dentro de la serie completa.

Correlación espacial.

El estudio de la correlación espacial de las series temporales se realiza mediante el coeficiente de correlación de rango de Spearman, ya que el coeficiente de correlación de Pearson no es apropiado para datos ordinales como los nuestros (Pfister, 1992). Por otro lado, el coeficiente de correlación de Pearson es sensible a la existencia de valores extremos, de modo que las medidas de asociación por rangos pueden ser más apropiadas cuando la muestra contiene tales valores. En el coeficiente de correlación de Spearman, se establece el rango de cada variable de forma similar a como vimos en el test de Kendall para la búsqueda de tendencias. Si el rango de i individuos para una variable es x_i y para la otra variable es y_i , se define la diferencia $d_i = x_i - y_i$, y el coeficiente de correlación de Spearman, r_s , viene dado por

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

Si $r_s = +1$, existe un perfecto acuerdo entre las dos variables, si $r_s = -1$ existe una correlación negativa perfecta, y si $r_s = 0$, no hay correlación entre las variables (Ya-Lun Chou, 1972). El valor del coeficiente puede comprobarse resolviendo la ecuación

$$t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}}$$

y comparando este estadístico con los puntos de probabilidad (al 95%) de la distribución t de Student para N-2 grados de libertad.

4.6.3. Resultados. Región M.

Dedicamos esta sección a describir los resultados de la aplicación de las técnicas estadísticas descritas al caso de la región M, que corresponde al surco intrabético, y de la cual Granada es la localidad más representativa en nuestros datos.

En la Fig. IV.6.3.1 se representa la evolución de la suma acumulativa de desviaciones S_k en función del tiempo. El valor máximo de este parámetro (8.79) corresponde al año 1647, aparecen mínimos secundarios a mediados y finales del siglo XVI, en 1554 ($|S_k| = 4.3$) y 1595 ($|S_k| = 5.06$), y el mínimo absoluto se presenta en 1608 (-5.32).

La posibilidad de un cambio alrededor del año 1650 nos lleva a plantear el test t de diferencia entre las medias, comparando los periodos previo y posterior a esta fecha. En la Tabla IV.6.3.1 se muestran los resultados. Encontramos evidencias de cambio alrededor de este año si comparamos los 100 años previos con los 50 posteriores hasta el final del registro. El signo del cambio es además una disminución (diferencia positiva) del valor medio de las precipitaciones. Si comparamos con los 50 años previos se confirma la existencia del cambio en el sentido de una disminución, pero esta vez bastante más acusada que antes. Esto, unido a la existencia de un máximo secundario a finales del siglo XVI en las sumas acumulativas de desviaciones, nos ha llevado a plantear el test entre los periodos de 50 años anterior y posterior al cambio de siglo. La diferencia es negativa, indicando un aumento del valor medio de las precipitaciones en la primera mitad del siglo XVII, pero no resulta significativa como para poder confirmar la presencia de un cambio. Idéntico resultado se obtiene de la comparación entre la primera y la segunda mitad del siglo XVI. En conclusión, el test t de diferencia entre las medias nos permite establecer en la región M la existencia de dos periodos bien definidos, 1501-1650 y 1651-1700, entre los cuales se produce un cambio

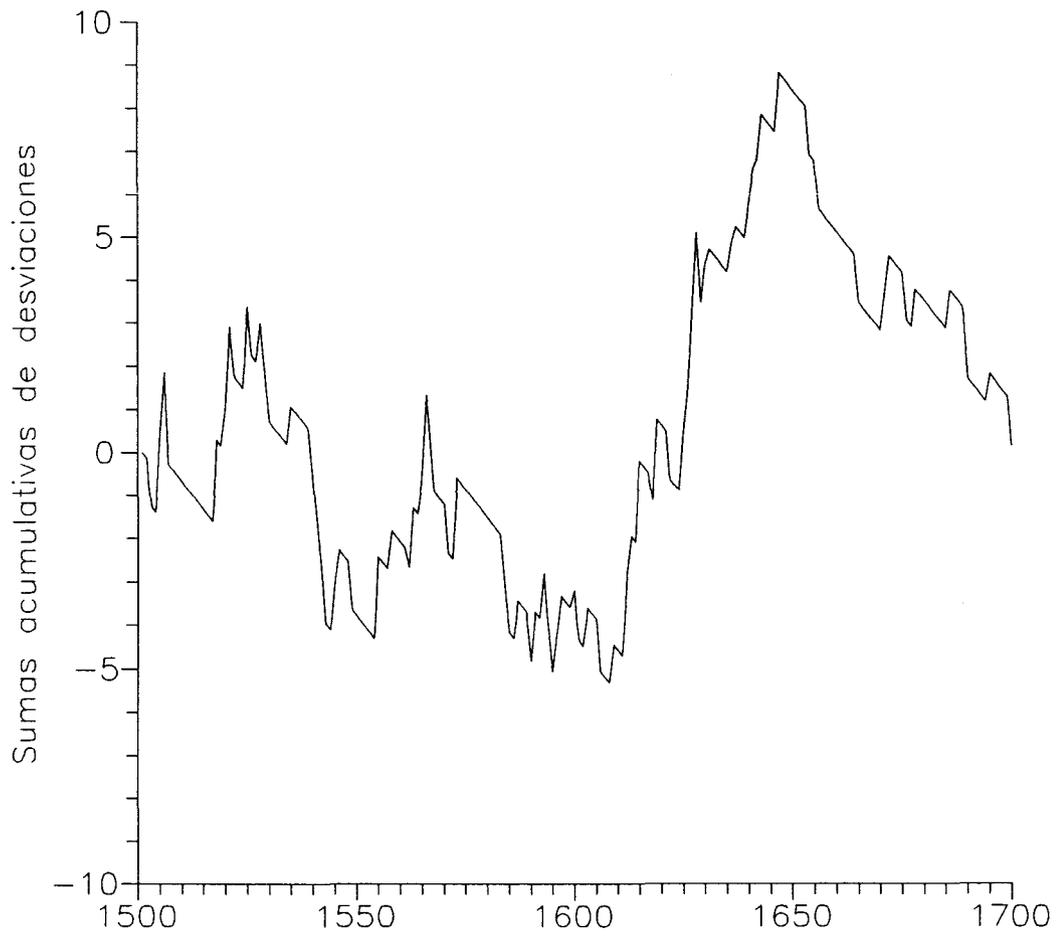


Figura IV.6.3.1.- Sumas acumulativas de desviaciones, región M, periodo 1501-1700.

Tabla IV.6.3.1.- Test t de diferencia entre las medias, región M, significación estadística del 95%. Valores de la t de Student correspondientes a 148 y 98 grados de libertad.

Periodos	Diferencia	t_d	t(Student)
1551-1650 vs. 1651-1700	+0.29	2.32	1.96
1601-1650 vs. 1651-1700	+0.42	3.15	1.87
1551-1600 vs. 1601-1650	-0.26	-1.64	1.87
1501-1550 vs. 1551-1600	-0.07	-0.42	1.87

TABLA IV.6.3.2.- Test de Kendall, región M ($t_g(95\%)=1.645$).

Periodo	τ	$(\tau)_t$
1501-1700	0.01	0.08
1501-1600	-0.01	0.11
1601-1700	-0.17	0.11
1551-1650	0.10	0.11
1501-1550	-0.10	0.16
1551-1600	-0.08	0.16
1601-1650	0.03	0.16
1651-1700	0.08	0.16

hacia una disminución en el valor medio de las precipitaciones.

El signo de las diferencias entre las medias sugiere la posibilidad de la aparición de una tendencia creciente a lo largo del primer periodo, seguida de una tendencia decreciente durante la segunda mitad del siglo XVII. Para confirmarlo, se aplica el test de Kendall, cuyos resultados se muestran en la Tabla IV.6.3.2.

En la mayoría de los casos, $|\tau| < (\tau)_t$, lo cual niega la existencia de una tendencia definida en el periodo correspondiente. Sólo en un caso el valor del estadístico muestra una

tendencia, aunque débil, de decrecimiento de las precipitaciones, para el siglo XVII y en una ocasión el valor del estadístico está próximo al de $(\tau)_0$, en el periodo central del registro, 1551-1650. La posibilidad de una tendencia lineal en estos periodos fue analizada mediante un análisis de regresión lineal entre el valor del índice anual y el tiempo. El resultado fue negativo, con el coeficiente de correlación ≈ 0 y la pendiente del orden de 10^{-3}año^{-1} .

La posibilidad de la existencia de un punto de cambio abrupto fue analizada mediante el test secuencial de Mann-Kendall. El resultado se muestra en la Figura IV.6.3.2. Aunque existe solapamiento y algún cruce entre las curvas C_1 y C_2 , no existen puntos de corte claros entre ellas, de lo que se infiere la inexistencia de discontinuidades en la serie.

Los resultados de la aplicación del método de las medias móviles se muestran en la Figura IV.6.3.3. Se observa la alternancia de fases húmedas ($I > 0$) y secas ($I < 0$), lo cual parece indicar que el comportamiento del clima sigue las pautas de una oscilación en lugar de una vacilación. En total se contabilizan 5 fases húmedas y 4 fases secas, con la característica de una mayor longitud correspondiente a las fases húmedas, en especial a lo largo de la primera mitad del siglo XVII. Las fases secas son una muy breve a comienzos del siglo XVI, que refleja la sequía del año 1506, otras centradas en torno a 1540 y 1580 y, finalmente, el periodo seco alrededor de 1655. Las sequías de 1605 y de comienzos de la década de los 1680 quedan en parte compensadas por las noticias de fuertes lluvias e inundaciones en 1603, otoño de 1605 e invierno de 1684, pero quedan reflejadas en la aparición de mínimos relativos en la serie. Las fluctuaciones frecuentes e intensas parecen estar aleatoriamente distribuidas, y si existen periodicidades, éstas no están bien definidas.

La Figura IV.6.3.4 muestra el periodograma de la serie correspondiente al periodo completo, 1501-1700. Aparecen 4 picos estadísticamente significativos, en torno a valores correspondientes a 6.6, 3.7, 3.3 y 3.2 años. Para determinar si los ciclos están presentes a lo largo de toda la serie temporal, y, en ese caso, su continuidad temporal, calculamos el espectro correspondiente al siglo XVI (Figura IV.6.3.5), al siglo XVII (Figura IV.6.3.6), y al periodo 1551-1650 (Figura IV.6.3.7). En el siglo XVI encontramos picos significativos en 6.6, 4.5, 3.4, 3.2 y 2.5 años por ciclo. En el siglo XVII tenemos picos estadísticamente significativos en 14.2, y 7.6 años, y muy próximos al nivel del 95% están los picos de 11.1,

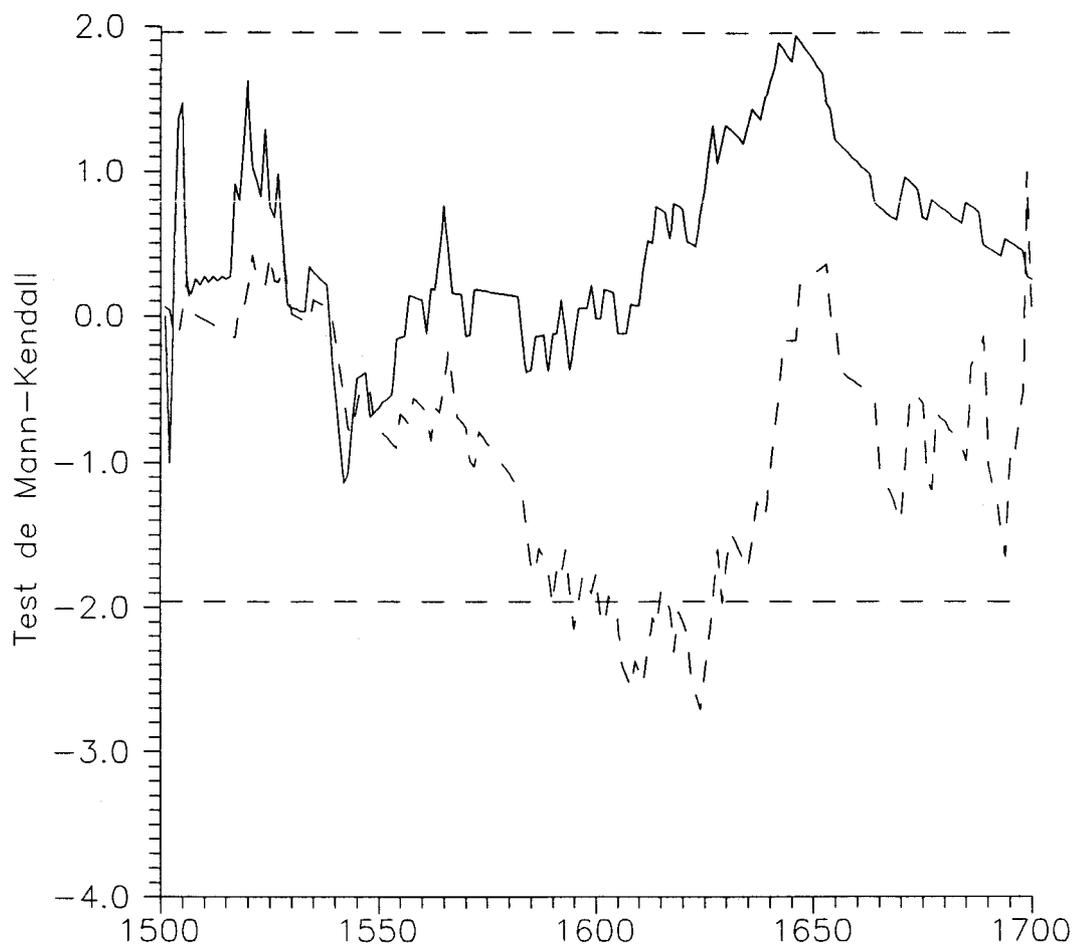


Figura IV.6.3.2.- Test secuencial de Mann-Kendall, región M, periodo 1501-1700. C_1 , curva continua; C_2 , curva discontinua.

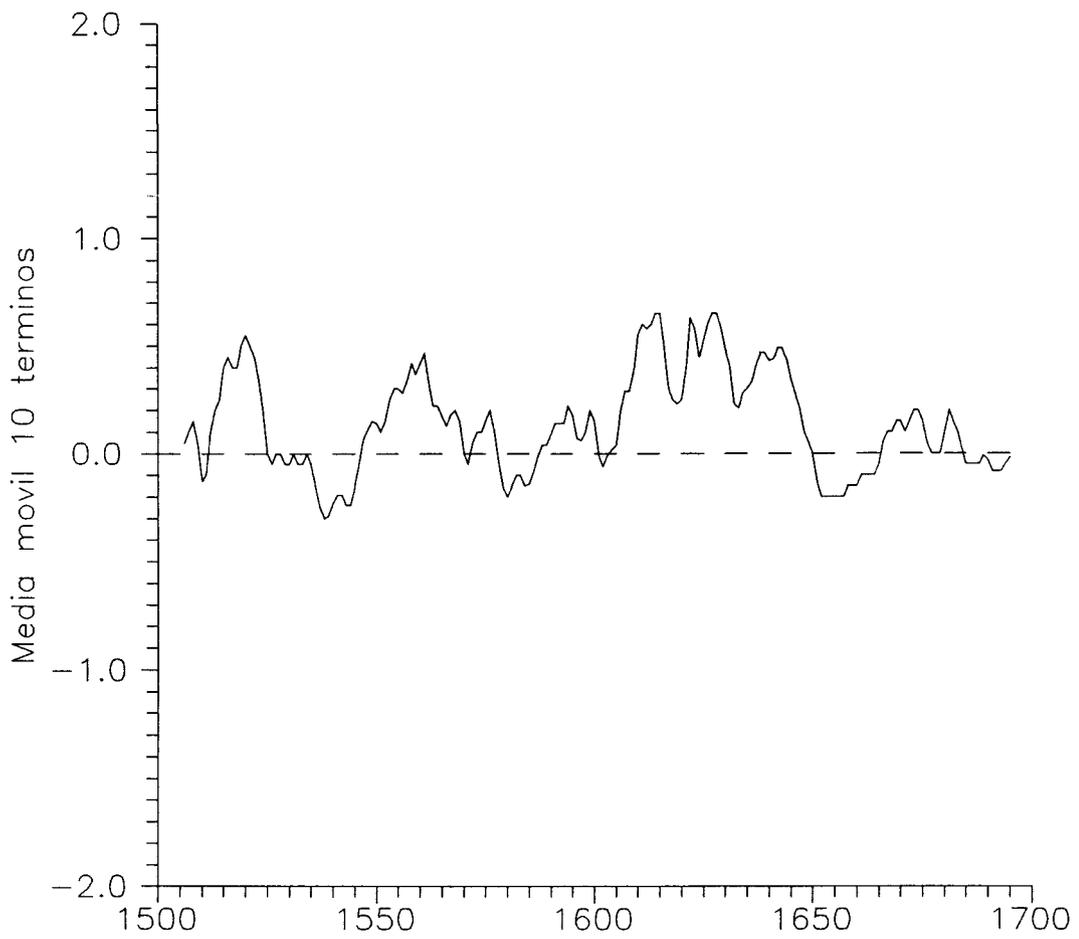


Figura IV.6.3.3.- Media móvil de 10 años, región M, periodo 1501-1700.

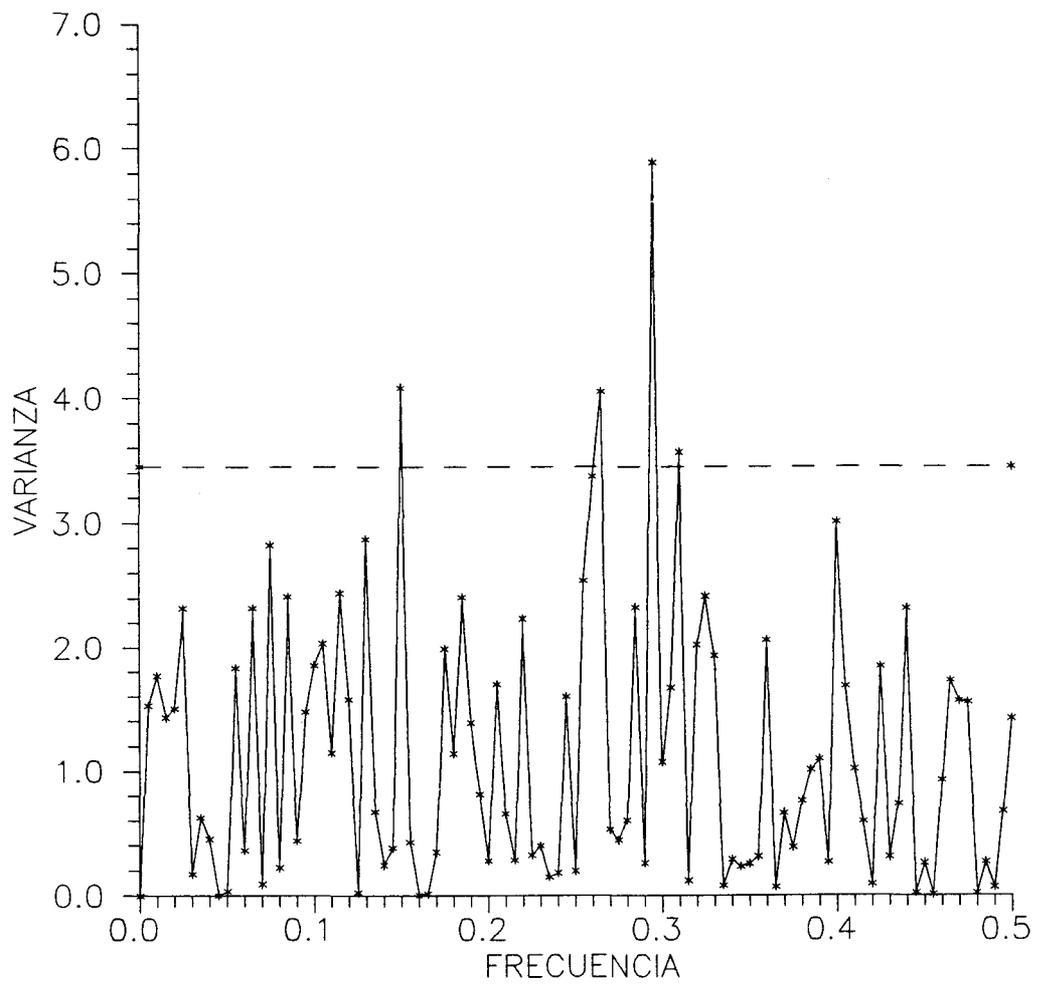


Figura IV.6.3.4.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1501-1700, región M. La línea discontinua indica el límite de confianza al 95%.

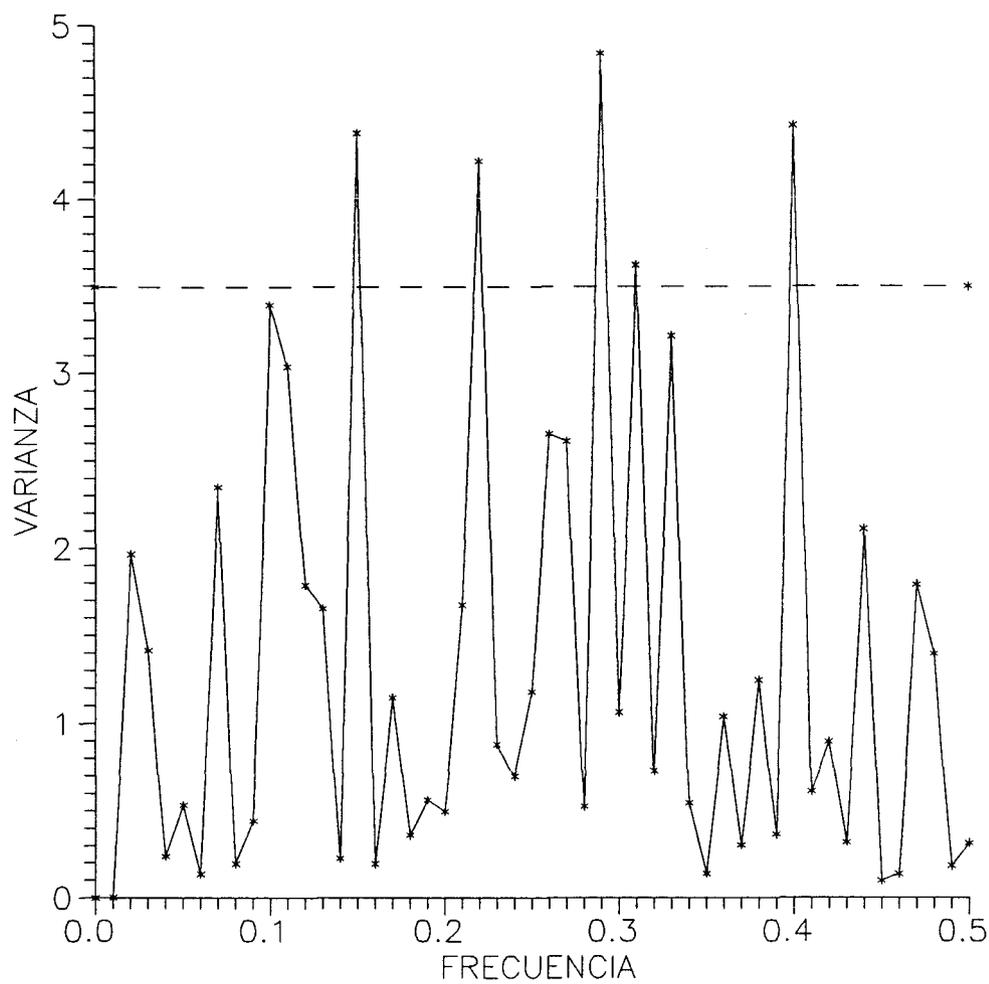


Figura IV.6.3.5.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVI y a la región M. La línea discontinua indica el límite de confianza al 95%.

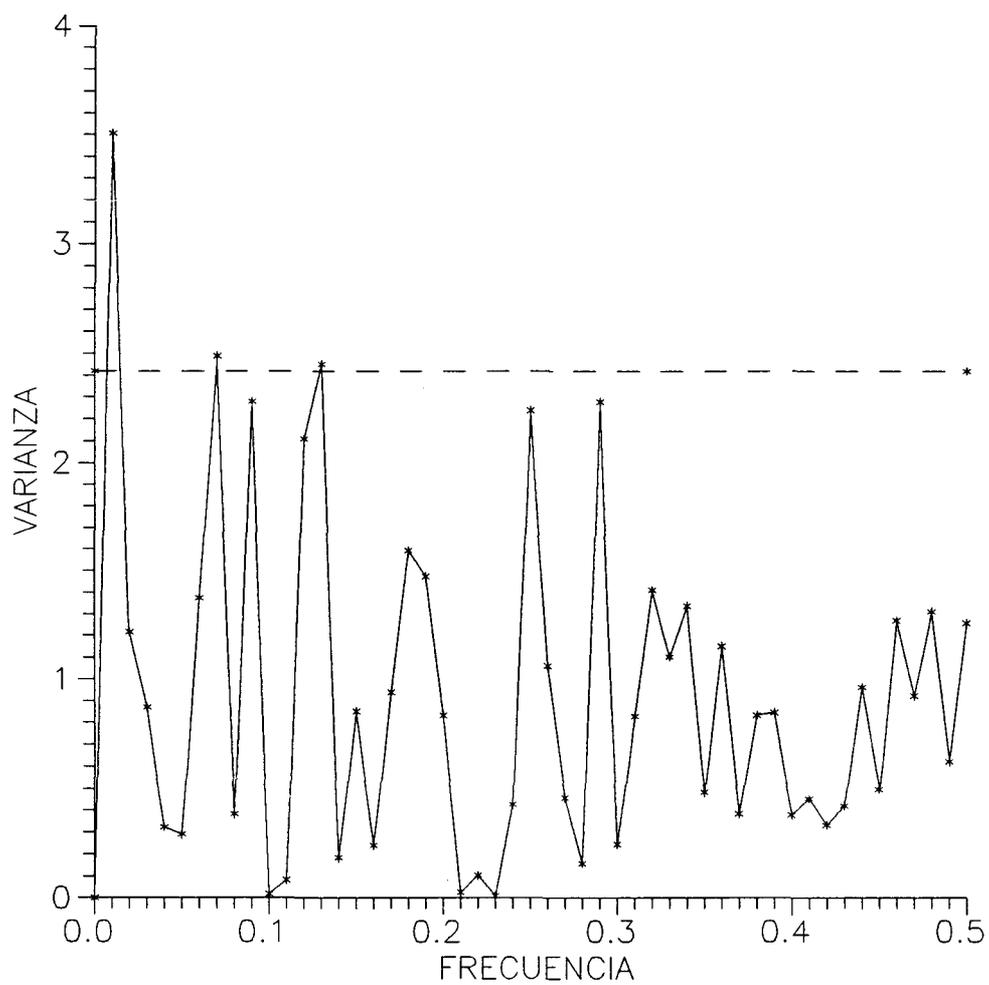


Figura IV.6.3.6.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVII y a la región M. La línea discontinua indica el límite de confianza al 95%.

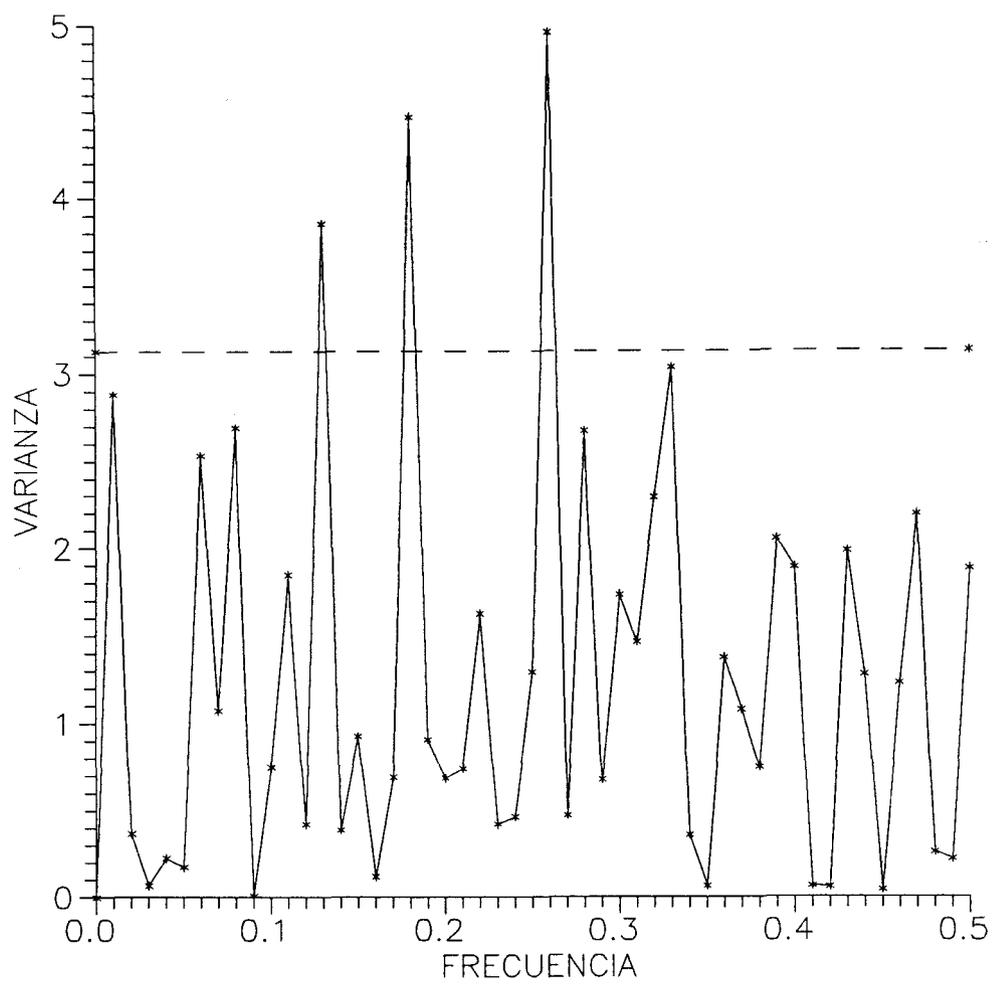


Figura IV.6.3.7.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1551-1650 y a la región M. La línea discontinua indica el límite de confianza al 95%.

4 y 3.4 años. Finalmente, el periodograma correspondiente al periodo 1551-1650 muestra picos significativos en 7.6, 5.5 y 3.8 años, y muy próximo al límite de confianza del 95% en 3 años.

En todos los casos, los coeficientes de autocorrelación r_1 eran muy próximos a cero y poco significativos estadísticamente, lo cual llevó a aceptar un espectro continuo "nulo" de ruido blanco (Mitchell, 1969). Quiere esto decir, en primer lugar, que la serie debe entenderse libre de persistencia, y en segundo lugar que todas las estimaciones espectrales tienden a ser de la misma amplitud. El papel destacado del pico de 3.3 años en la serie completa (Figura IV.6.3.4) podría indicar la aparición de una onda de forma sinusoidal. Los valores numéricos precisos dependen de la longitud de la serie, de modo que ciclos que tienen efectivamente la misma longitud pueden tener valores numéricos ligeramente diferentes en series de distinta longitud (Clegg y Wigley, 1984). De ahí que a la hora de buscar ciclos comunes entre los distintos espectros nos movamos en un margen de ± 1 año. Encontramos así que entre los picos estadísticamente significativos o muy próximos al nivel del 95%, los que son comunes a todos los espectros son uno de alrededor de 3-4 años y otro en torno a los 7 años. El espectro del siglo XVII muestra un aspecto distinto al resto. Dado que hemos localizado un cambio climático en este siglo, éste podría reflejarse en el distinto carácter de este espectro.

El análisis de la variabilidad de la serie se realiza por comparación del valor del rango intercuartílico correspondiente a diferentes subperiodos de cincuenta años, y los resultados se muestran en la Tabla IV.6.3.3, donde se indican los valores del primer y tercer cuartil, así como del intervalo intercuartílico. La escasa variabilidad sólo se ve interrumpida en la primera mitad del siglo XVII, con un aumento que coincide con el incremento de las precipitaciones en este periodo.

TABLA IV.6.3.3. Variabilidad de las precipitaciones en la región M.

Periodo	1er.Cuartil	3er.Cuartil	Rango
1501-1550	0	0	0
1551-1600	0	0	0
1601-1650	0	1	1
1651-1700	0	0	0

La conclusión de este estudio es que el cambio climático en la región M, dentro del periodo estudiado, se produjo en forma de fluctuación, como una oscilación de periodicidad irregular en torno a los 3 y 7 años. No aparecen tendencias suficientemente significativas ni cambios bruscos o discontinuidades, y la variabilidad de las precipitaciones fue mayor durante el periodo más húmedo, en la primera mitad del siglo XVII.

4.6.4. Resultados. Región SW.

El análisis de las sumas acumulativas de desviaciones en la región SW se muestra en la Figura IV.6.4.1. El valor máximo de $|S_k|$ es de 9.73 y corresponde al año 1648. Aparecen también extremos relativos en la segunda mitad del siglo XVI, en 1554 (9.33) y 1575 (9.61).

En la Tabla IV.6.4.1 se presentan los resultados de la aplicación del test t de diferencia entre las medias. El test establece diferencias significativas entre la primera mitad del siglo XVI y los periodos posteriores de 50 y 100 años. Estas diferencias son negativas, indicando un aumento de las precipitaciones. El centenario de años previo a 1650 también muestra una diferencia significativa con la segunda mitad del siglo XVII, de signo positivo, lo cual indica una disminución de las precipitaciones al final del registro. Este cambio no está tan claro ($t_d=t$) si comparamos la primera mitad del siglo XVII con la segunda. Por otra parte, no hay una diferencia significativa entre la segunda mitad del siglo XVI y la primera mitad del XVII. Se distinguen, pues, claramente tres periodos a lo largo del registro, el primero seco, luego un periodo entre siglos más húmedo, y finalmente un nuevo periodo seco.

En la Tabla IV.6.4.2 se exponen los resultados de la aplicación del test de Kendall para la búsqueda de tendencias. En todos los casos $|\tau| < (\tau)_i$, salvo en uno, en que ambos parámetros son iguales, que corresponde al siglo XVI. Se infiere que no podemos hablar de tendencias definidas en los periodos analizados, salvo quizás, en el siglo XVI, en el que aparecería una tendencia positiva de crecimiento de las precipitaciones. El análisis de regresión lineal proporciona resultados similares a los de la región M, con coeficientes de correlación ≈ 0 y valores de la pendiente del orden de 10^{-3}año^{-1} .

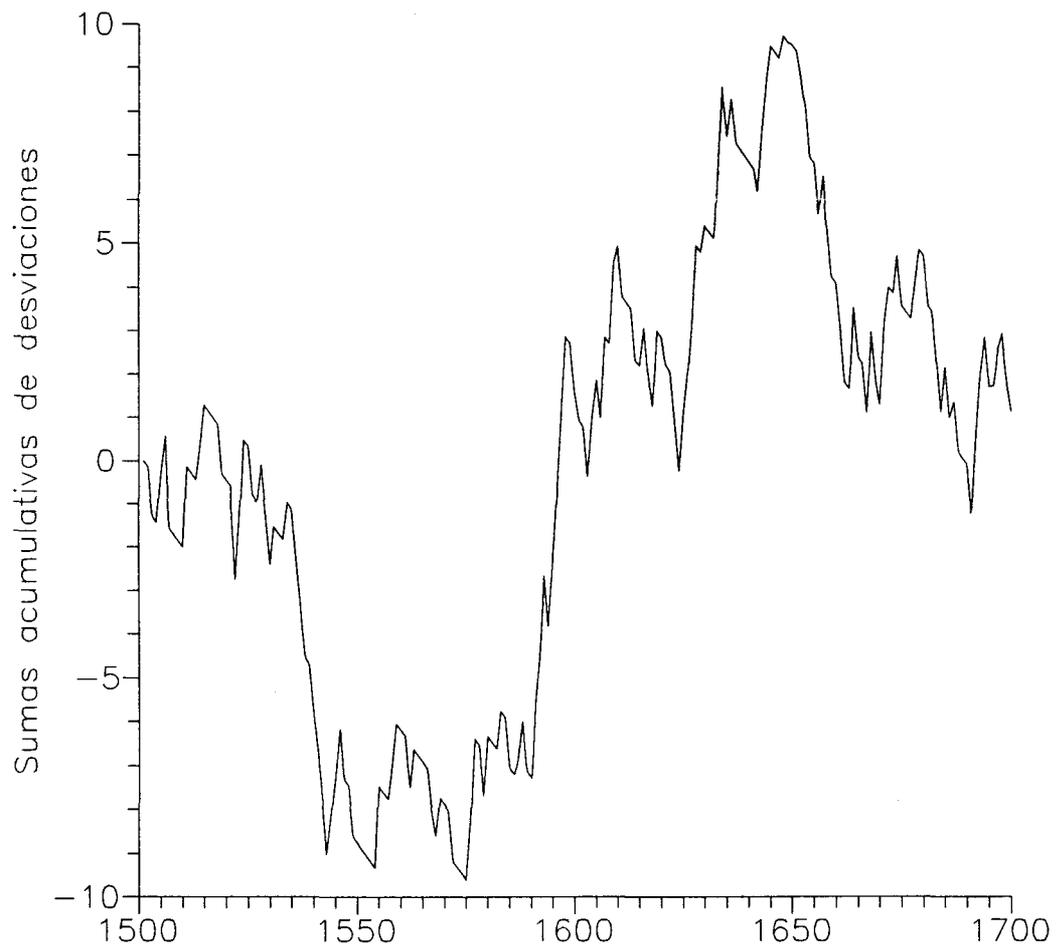


Figura IV.6.4.1.- Sumas acumulativas de desviaciones, región SW, periodo 1501-1700.

TABLA IV.6.4.1.- Test t de diferencia entre las medias, región SW, significación estadística del 95%. Valores de la t de Student correspondientes a 148 y 98 grados de libertad.

Periodos	Diferencia	t_d	t(Student)
1501-1550 vs. 1551-1650	-0.36	-2.23	1.96
1501-1550 vs. 1551-1600	-0.37	-1.99	1.87
1551-1600 vs. 1601-1650	0.03	0.15	1.87
1551-1650 vs. 1651-1700	0.37	2.26	1.96
1601-1650 vs. 1651-1700	0.36	1.87	1.87

TABLA IV.6.4.2.- Test de Kendall, región SW. ($t_g(95\%)=1.65$)

Periodo	τ	$(\tau)_t$
1501-1700	-0.01	0.08
1501-1600	0.11	0.11
1601-1700	-0.09	0.11
1551-1650	0.03	0.11
1501-1550	-0.13	0.16
1551-1600	0.10	0.16
1601-1650	0.05	0.16
1651-1700	0.09	0.16

En la Figura IV.6.4.2 se muestra el resultado de la aplicación del test secuencial de Mann-Kendall a la serie de la región SW. No se aprecian puntos de intersección entre las dos curvas, por lo que debe descartarse la existencia de un cambio abrupto.

Las medias móviles de 10 años de la serie en estudio se representan en la Figura IV.6.4.3. El resultado es la caracterización del periodo en estudio como un periodo de oscilación climática, con fluctuaciones irregulares, en el que alternan 6 fases húmedas con

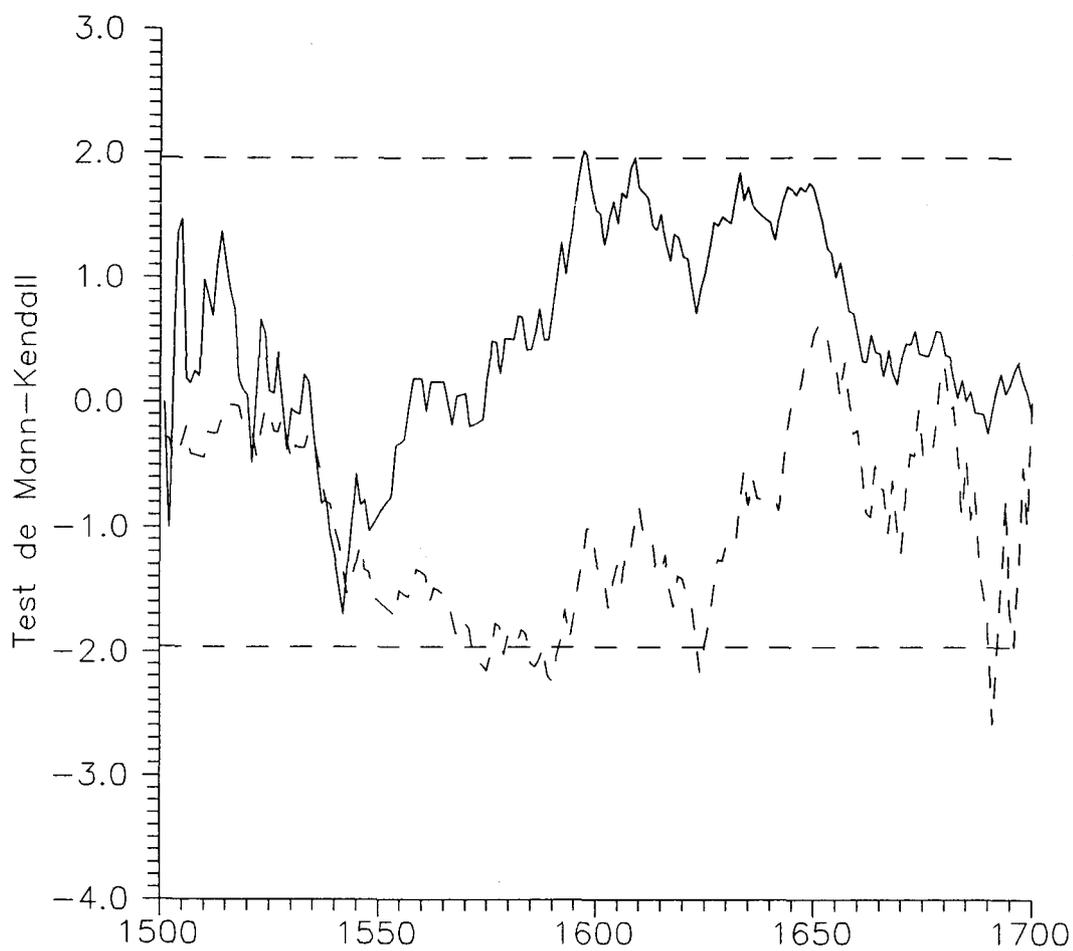


Figura IV.6.4.2.- Test secuencial de Mann-Kendall, región SW, periodo 1501-1700. C_1 , curva continua; C_2 , curva discontinua.



5 fases secas. Los periodos secos son más breves que los húmedos y se localizan alrededor de 1540, 1570, 1615, 1660 y 1685. Destacan los máximos del periodo intermedio, en torno a 1590 y 1630, mucho más pronunciados que el resto, tanto en amplitud como en duración de la fase húmeda.

En la Figura IV.6.4.4 se muestra el periodograma de la serie completa. Las figuras IV.6.4.5, 6 y 7 muestran los periodogramas correspondientes, respectivamente, al siglo XVI, XVII y el periodo 1551-1650. En todos, el coeficiente de autocorrelación r_1 tenía un valor próximo a 0, no era estadísticamente significativo, y se adoptó como espectro continuo "nulo" el ruido blanco. Para la serie completa se encontraron picos significativos en 40, 16.6, 7.4, 5.8, 3.7 y 2.9 años por ciclo. Para el siglo XVI los picos significativos correspondieron a 16.6, 4.5, 3.5 y 3.1 años. En el siglo XVII aparece un ciclo claramente definido en 3.7 años, y dos muy próximos al límite del 95%, correspondientes a 20 y 2.1 años. Finalmente, para el periodo 1551-1650, los picos significativos corresponden a 16.6, 5.5, 3.5, y 2.9 años. Muy cerca del límite de confianza del 95% aparecen picos en 12.5 y 2.7 años. Como ciclos comunes a todos los espectros podemos considerar uno en torno a los 2-3 años, otro de 3.5-3.7 años y finalmente uno alrededor de los 17 años.

El estudio de la variabilidad de la serie mediante la comparación de los valores del rango intercuartílico se muestra en la Tabla IV.6.4.3. Coincidiendo con la aparición de la fase húmeda intermedia se observa una disminución de la variabilidad. Los valores mayores de la variabilidad corresponden a las fases secas de la primera mitad del siglo XVI y finales del XVII.

TABLA IV.6.4.3.- Variabilidad de las precipitaciones en la región SW.

Periodo	1er.Cuartil	3er.Cuartil	Rango
1501-1550	-1	1	2
1551-1600	0	1	1
1601-1650	0	1	1
1651-1700	-1	0.87	1.87

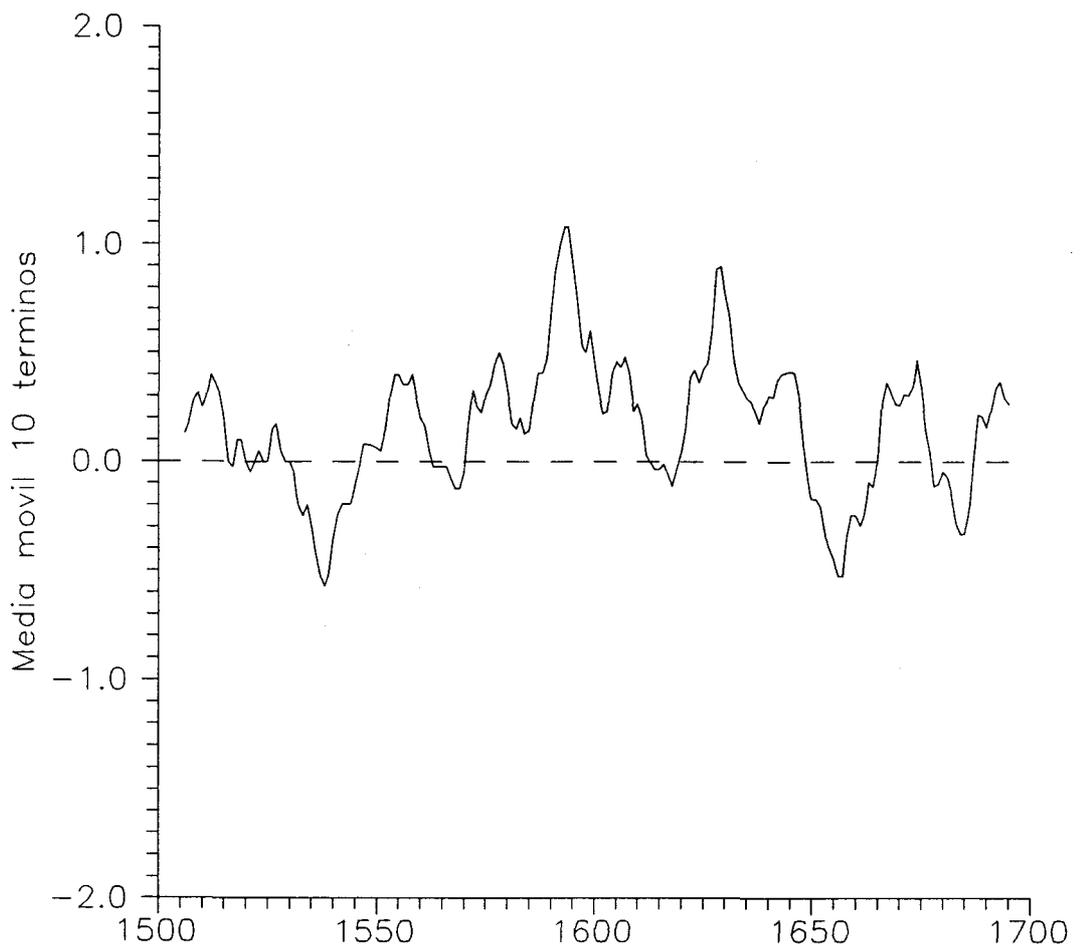


Figura IV.6.4.3.- Medias móviles de 10 años, región SW, periodo 1501-1700.

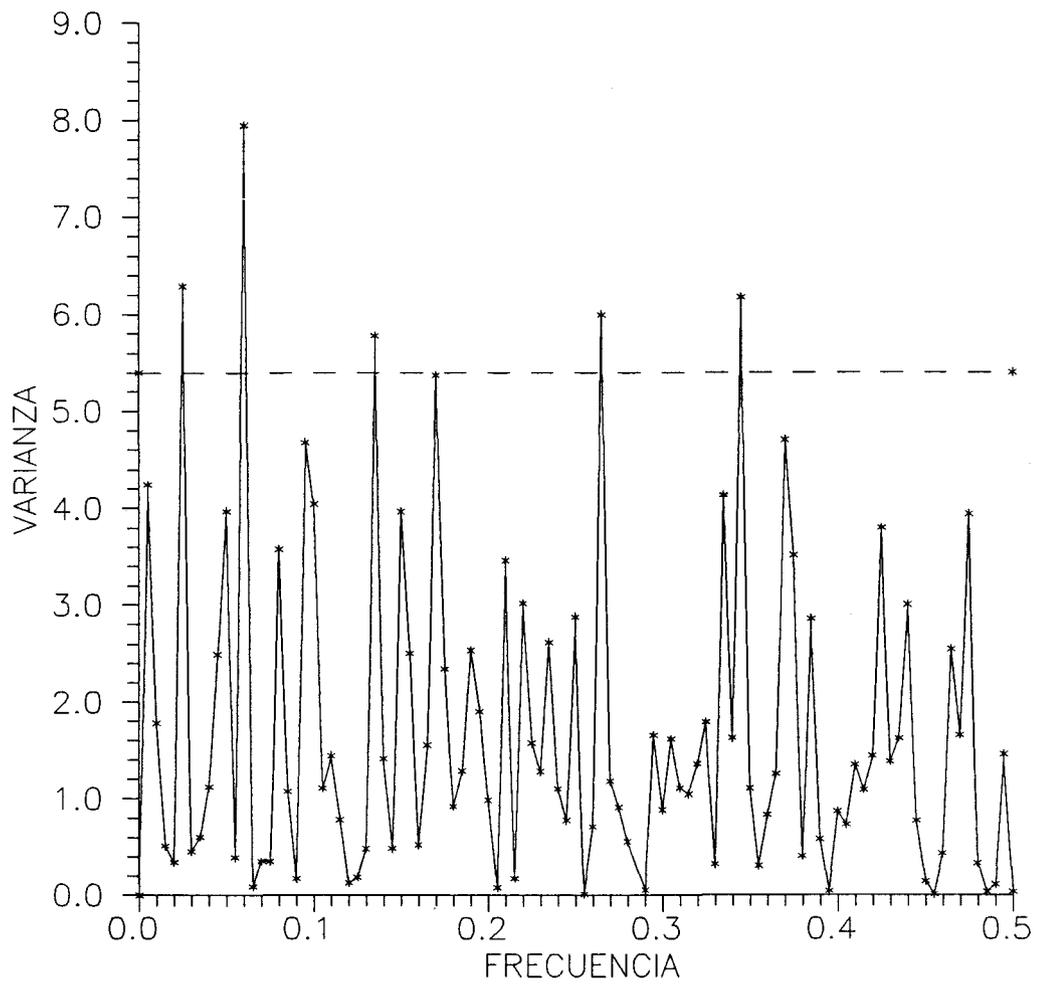


Figura IV.6.4.4.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1501-1700 y a la región SW. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

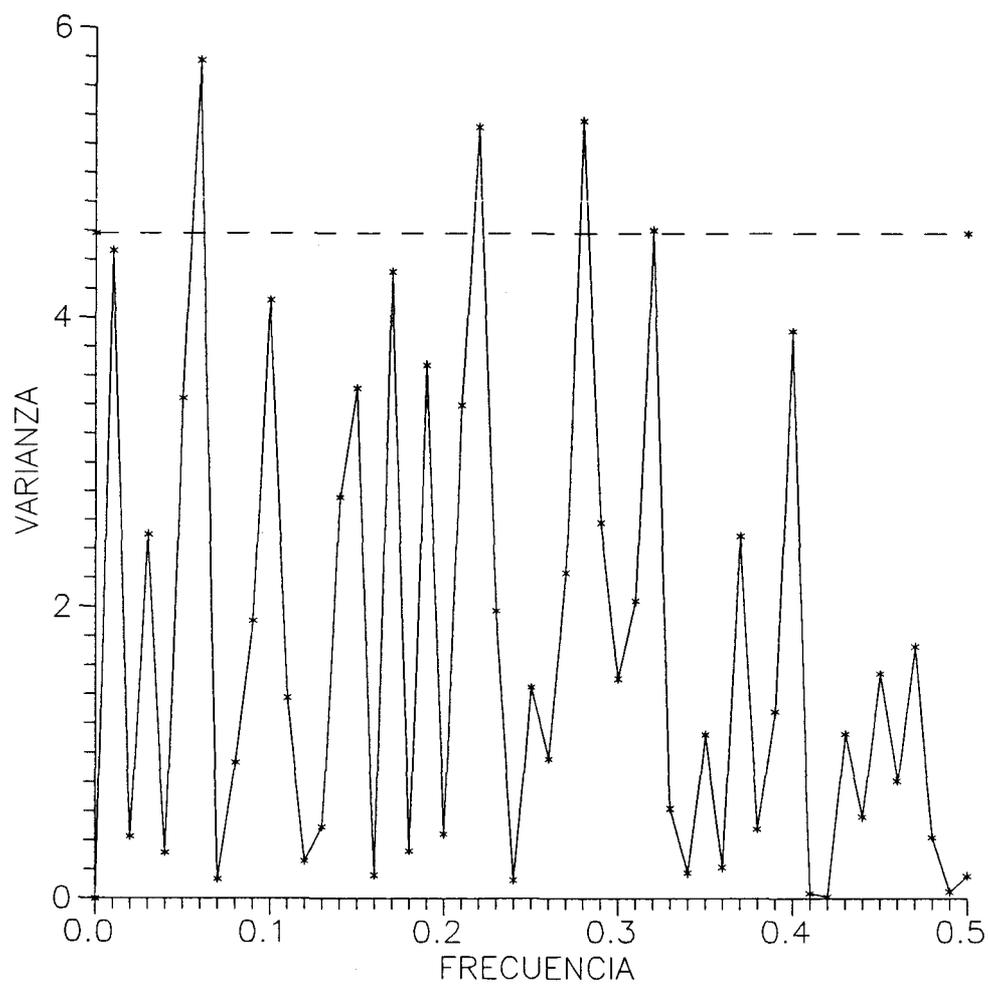


Figura IV.6.4.5.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVI y a la región SW. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

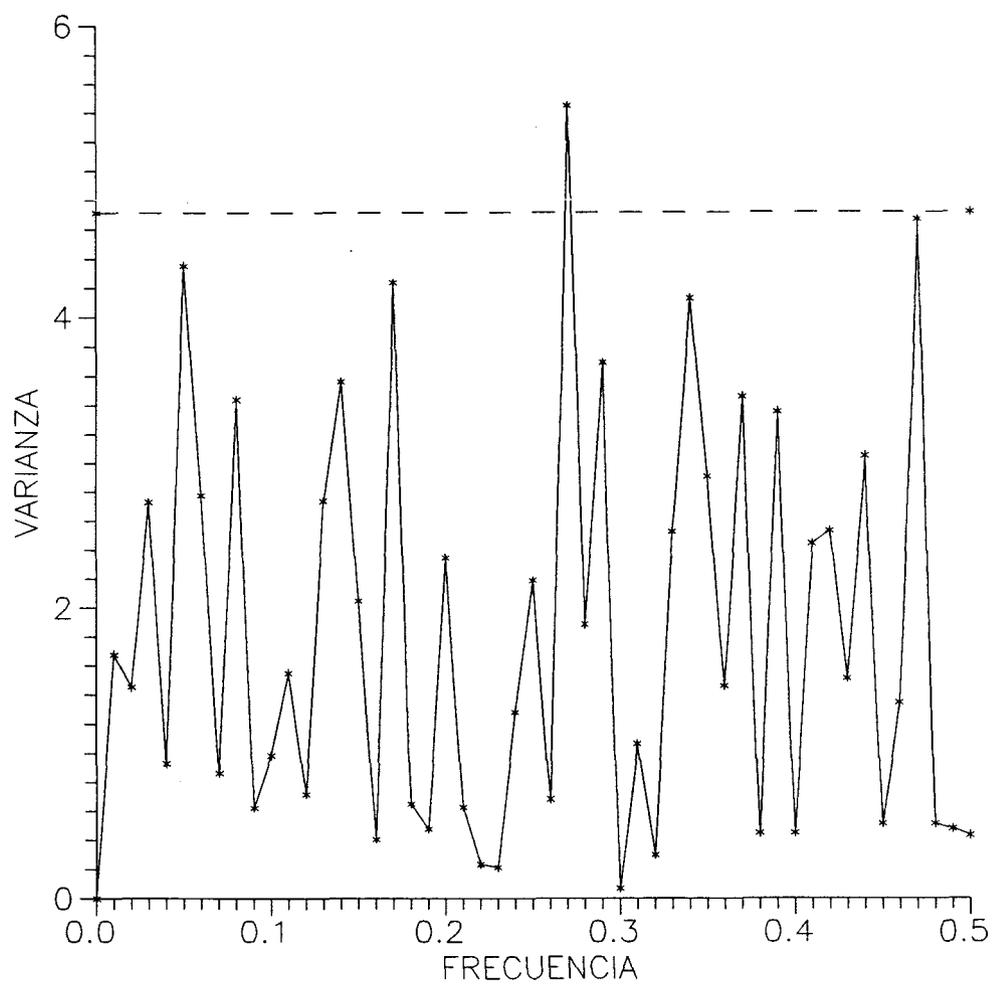


Figura IV.6.4.6.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVII y a la región SW. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

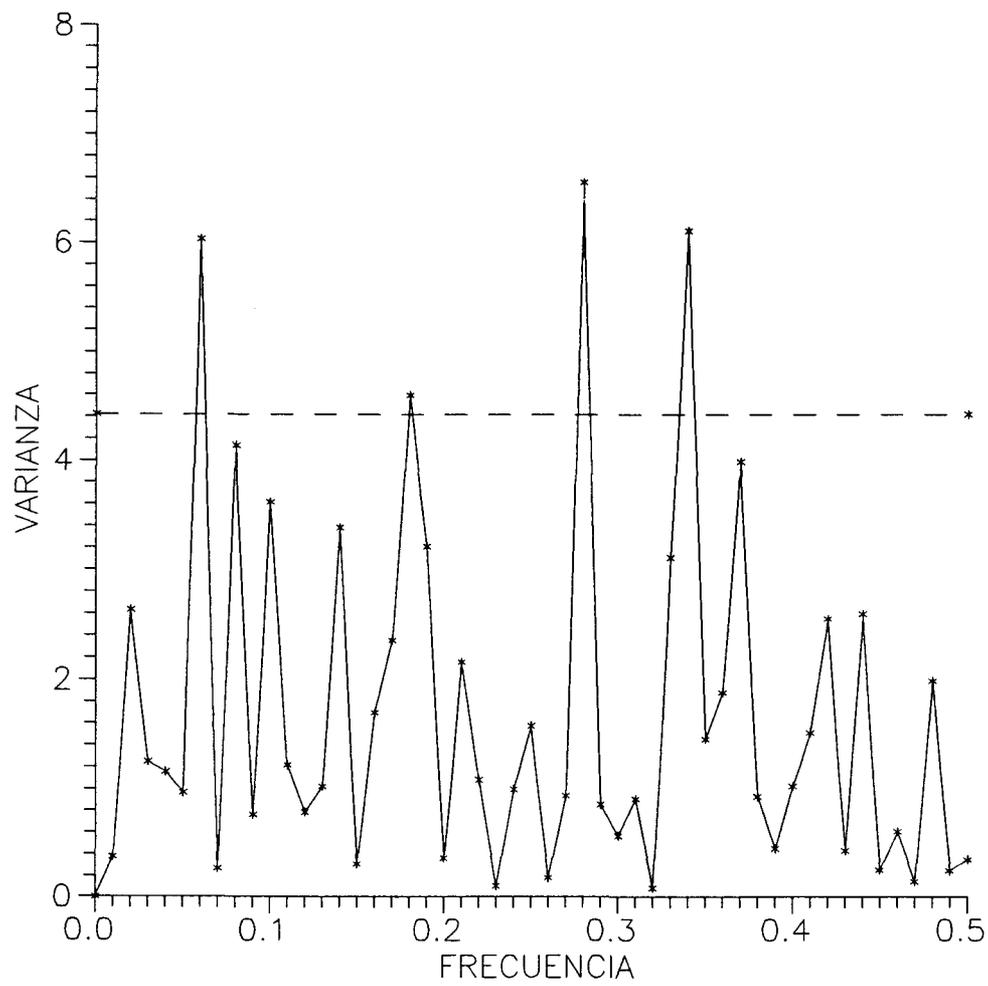


Figura IV.6.4.7.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1551-1650 y a la región SW. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

En conclusión, en el periodo en estudio en la región SW se produjo una oscilación climática de periodicidad irregular, con periodos de aproximadamente 2-3, 3.5 y 16.6 años. No aparecen tendencias o puntos de cambio abrupto claramente definidos y la variabilidad de las precipitaciones disminuyó coincidiendo con la fase más húmeda comprendida entre mediados del siglo XVI y mediados del siglo XVII.

4.6.5. Resultados. Andalucía.

Dedicamos esta sección a exponer los resultados del tratamiento estadístico aplicado al conjunto de Andalucía, teniendo en cuenta no sólo las noticias de las regiones M y SW, sino también el resto de las informaciones recogidas, en especial las relativas a la región R-5, y, en concreto, a la ciudad de Málaga. La aplicación del método de las sumas acumulativas de desviaciones (Figura IV.6.5.1) proporciona un máximo para la serie completa correspondiente al año 1649 ($|S_k| = 15.3$) y un máximo relativo correspondiente al año 1553 ($|S_k| = 10.7$). Buscamos, pues, la posibilidad de cambio climático alrededor de mediados del siglo XVI y del XVII.

Los resultados del test t de diferencia entre las medias se muestran en la Tabla IV.6.5.1. Si comparamos los primeros 50 años del siglo XVI con los 100 años posteriores a 1550, se observa una diferencia estadísticamente significativa, de signo negativo, lo cual indica un aumento de las precipitaciones de un periodo a otro. Este aumento, sin embargo, no resulta significativo si la comparación se realiza con la segunda mitad del siglo XVI. La comparación de los periodos previo y posterior a 1650 ofrece diferencias significativas de signo positivo, lo cual indica una disminución de las precipitaciones en la segunda mitad del XVII. En el periodo intermedio 1551-1650, de características más húmedas, no se observan diferencias significativas. Podemos distinguir, por tanto, tres periodos, uno seco que comprende la primera mitad del siglo XVI, otro húmedo desde mediados del XVI a mediados del XVII, y un nuevo periodo seco en la segunda mitad del XVII. En la Tabla IV.6.5.2 se muestran los resultados de la aplicación del test de Kendall para la búsqueda de tendencias. El único periodo para el cual se aprecia una débil tendencia es el siglo XVII, que muestra una tendencia negativa, es decir, de descenso de las precipitaciones.

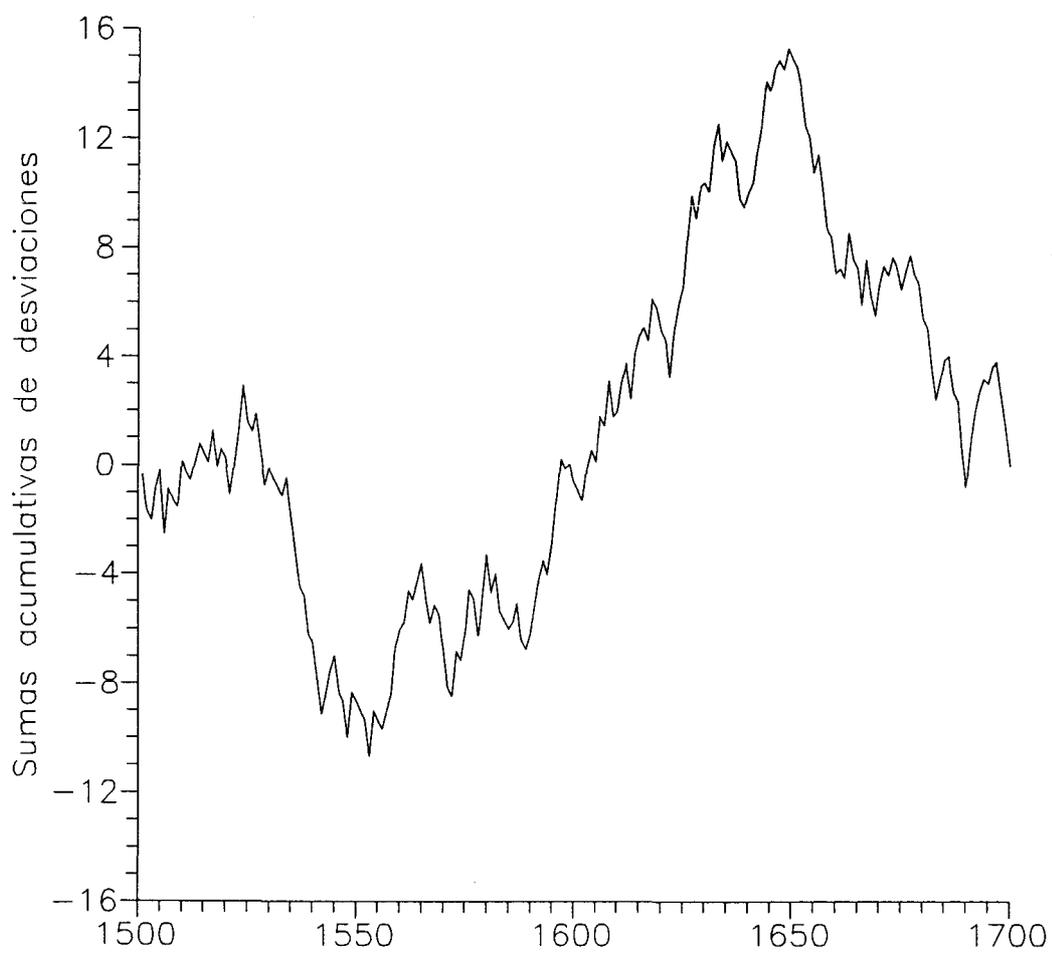


Figura IV.6.5.1.- Sumas acumulativas de desviaciones, Andalucía, periodo 1501-1700.

TABLA IV.6.5.1.- Test t de diferencia entre las medias, Andalucía, significación estadística del 95%. Valores de la t de Student correspondientes a 148 y 98 grados de libertad.

Periodos	Diferencia	t_d	t(Student)
1501-1550 vs. 1551-1650	-0.41	-2.41	1.96
1501-1550 vs. 1551-1600	-0.34	-1.67	1.87
1551-1600 vs. 1601-1650	-0.14	-0.78	1.87
1551-1650 vs. 1651-1700	0.53	3.23	1.96
1601-1650 vs. 1651-1700	0.61	3.20	1.87

TABLA IV.6.5.2.- Test de Kendall, Andalucía. ($t_g(95\%)=1.65$)

Periodo	τ	(τ) _t
1501-1700	-0.02	0.08
1501-1600	0.08	0.11
1601-1700	-0.17	0.11
1551-1650	0.06	0.11
1501-1550	-0.13	0.16
1551-1600	0.04	0.16
1601-1650	-0.003	0.16
1651-1700	0.06	0.16

La aplicación de la regresión lineal proporciona en todos los casos coeficientes de correlación ≈ 0 y valores de la pendiente del orden de 10^{-3} año⁻¹.

La aplicación del test secuencial de Mann-Kendall para la búsqueda de discontinuidades se muestra en la Figura IV.6.5.2. Puede observarse cómo el cambio detectado no se trata de un cambio abrupto. En la Figura IV.6.5.3 se muestran las medias móviles de 10 años correspondientes al conjunto de Andalucía. Nos encontramos ante una

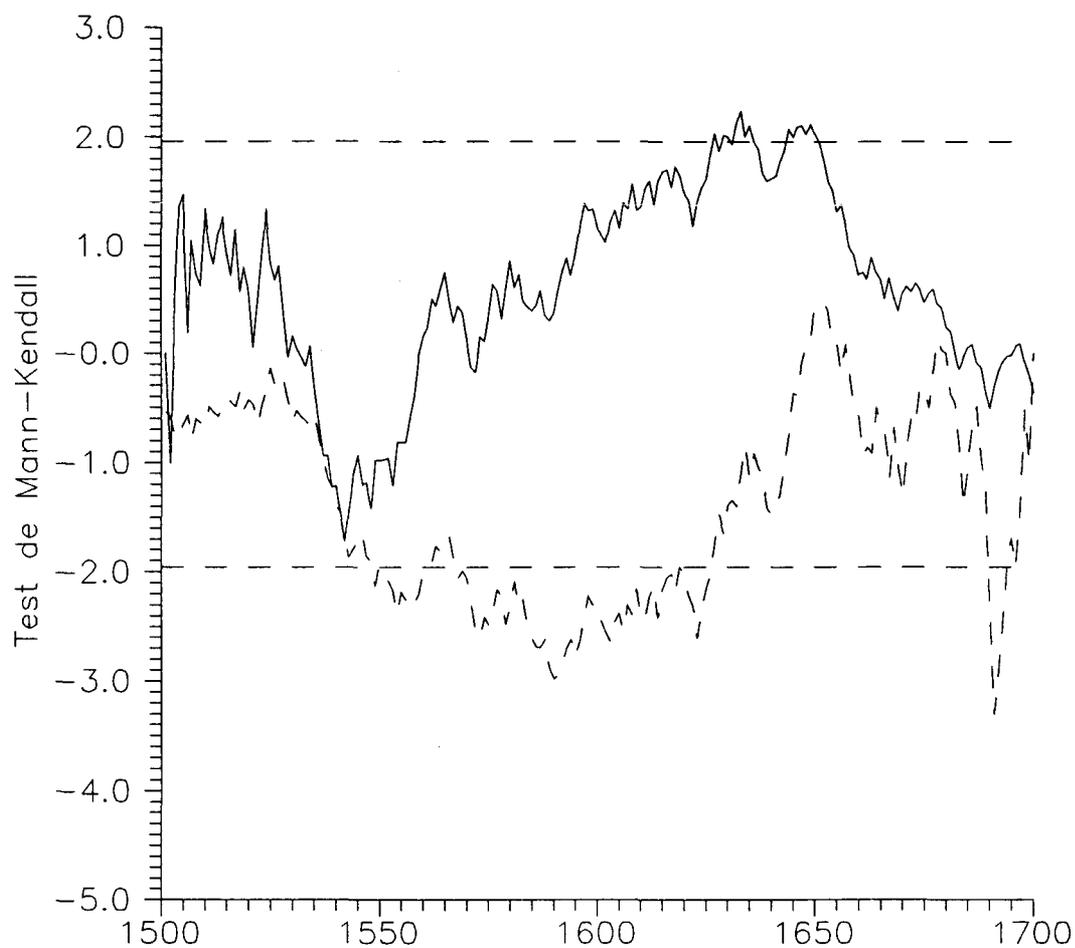


Figura IV.6.5.2.- Test secuencial de Mann-Kendall, Andalucía, periodo 1501-1700. C_1 , curva continua; C_2 , curva discontinua.

fluctuación en la que alternan 4 fases húmedas con tres fases secas. Las fases secas son de menor duración y se localizan alrededor de los años 1540, 1650 y 1680, coincidiendo con importantes sequías. Destaca el periodo intermedio entre 1550 y 1650 como periodo húmedo de larga duración. Las graves sequías de 1506 y 1605 no aparecen reflejadas en las medias móviles: la primera como resultado de su localización al comienzo del registro (efecto de los bordes de las medias móviles); la segunda queda enmascarada por las frecuentes noticias de lluvias e inundaciones a comienzos del siglo XVII. Lo interesante es la coincidencia entre el resultado de las medias móviles y del test t de diferencia entre las medias. Ambos métodos detectan un importante periodo más húmedo de lo normal entre 1550 y 1650.

La Figura IV.6.5.4 presenta el periodograma de la serie completa en los 200 años de registro. Los periodogramas correspondientes al siglo XVI, el siglo XVII y el periodo 1551-1650 se muestran en las figuras IV.6.5.5, 6 y 7, respectivamente. En todos los casos el coeficiente de autocorrelación r_1 no era estadísticamente significativo (≈ 0), por lo que se adoptó como continuo "nulo" el ruido blanco. Para la serie completa se encontraron picos estadísticamente significativos en 16.6, 10, 3.5, 2.3 y 2.1 años. En el siglo XVI los picos significativos corresponden a 16.6, 3.4, 2.5 y 2.3 años. Aparece un pico muy próximo al nivel del 95% en 5.3 años. Los picos significativos para el siglo XVII son 10, 3.7, 2.94 y 2.1 años, con un pico de 16.6 años en el nivel de confianza del 95%. Finalmente, para el periodo 1551-1650, los picos significativos corresponden a 16.6, 3.5 y 2.9 años, con un pico muy próximo al nivel del 95% en 2.1 años. Como ciclos comunes a todos los espectros encontramos los correspondientes a 16.6, 3.4-3.7 y 2.1-2.3 años. El estudio de la variabilidad de la serie mediante la comparación del rango intercuartílico se expone en la Tabla IV.6.5.3. Los resultados indican una mayor variabilidad coincidiendo con los periodos secos de comienzo y final del registro.

TABLA IV.6.5.3.- Variabilidad de las precipitaciones en Andalucía.

Periodo	1er.Cuartil	3er.Cuartil	Rango
1501-1550	-1	1	2
1551-1600	0	1.25	1.25
1601-1650	0	1.42	1.42
1651-1700	-1	1	2

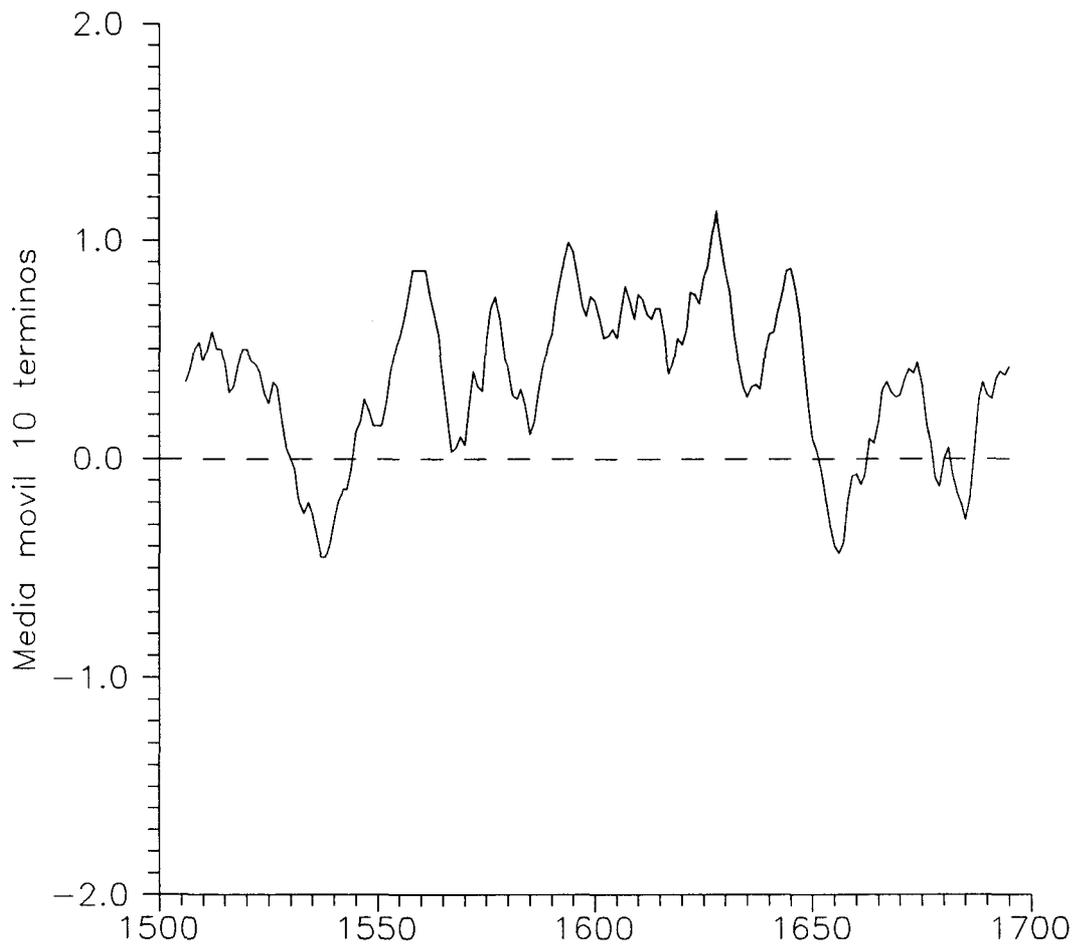


Figura IV.6.5.3.- Media móvil de 10 años, Andalucía, periodo 1501-1700.

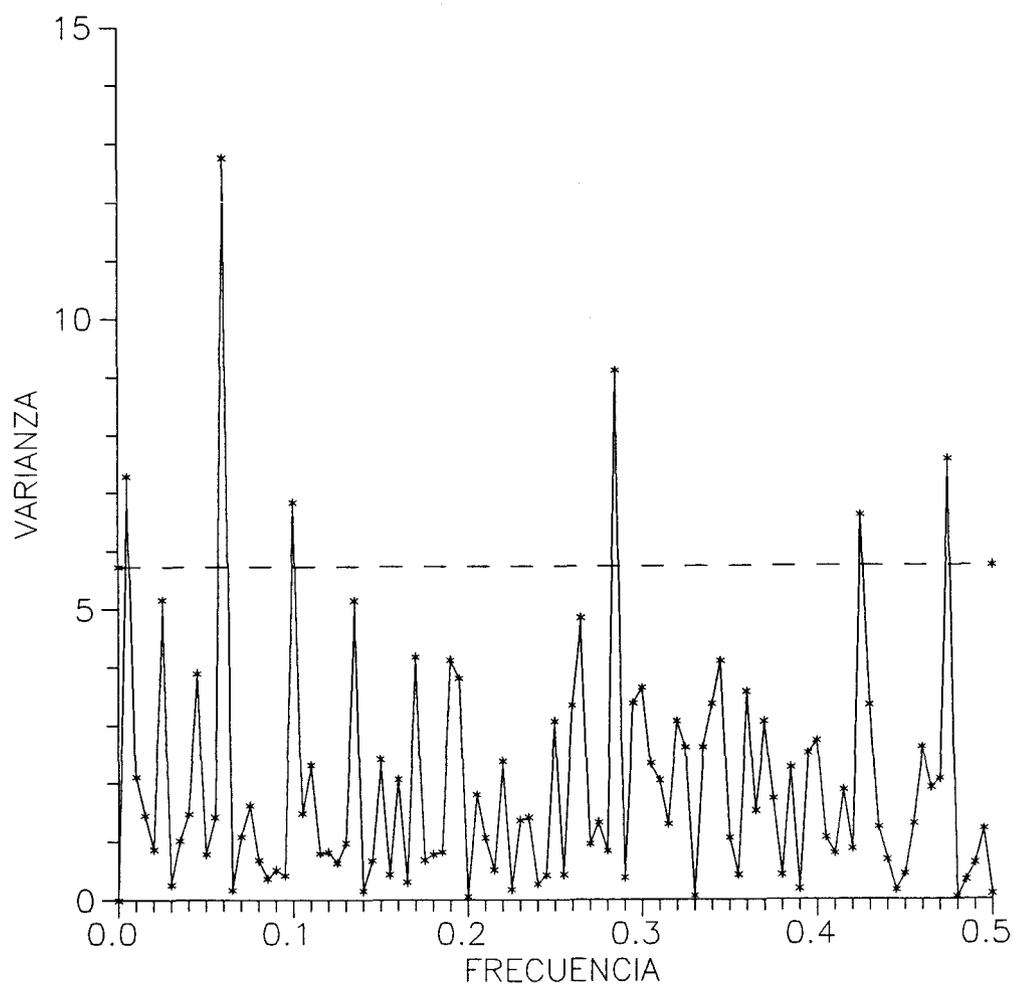


Figura IV.6.5.4.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1501-1700 y a Andalucía. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

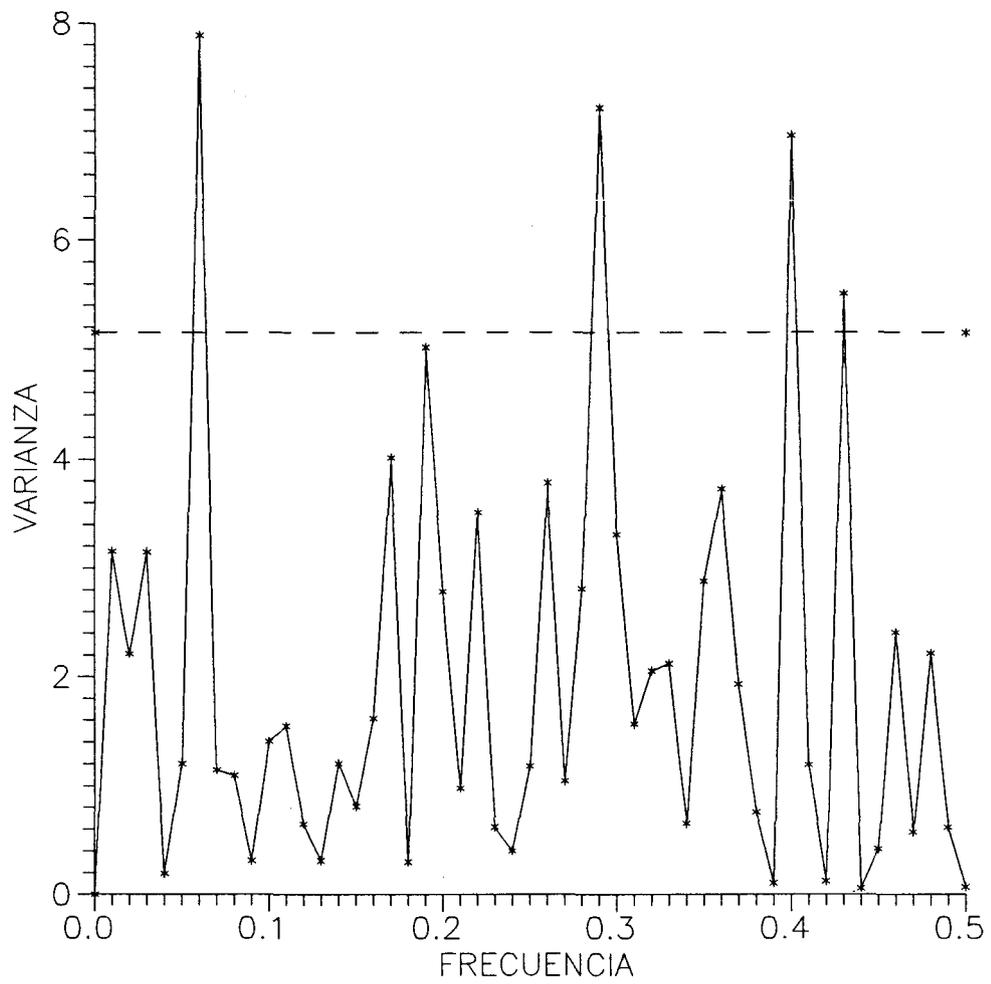


Figura IV.6.5.5.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVI y a Andalucía. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

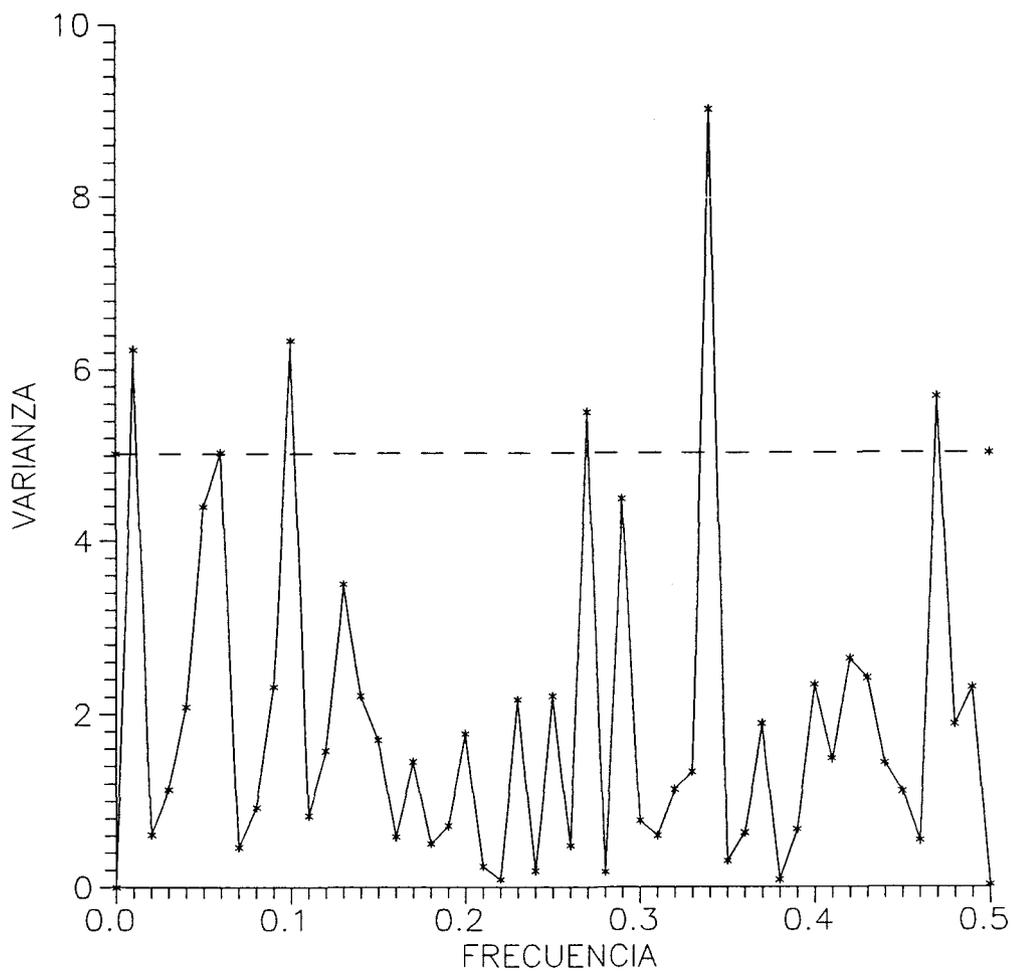


Figura IV.6.5.6.- Periodograma de la serie correspondiente al siglo XVII y a Andalucía. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

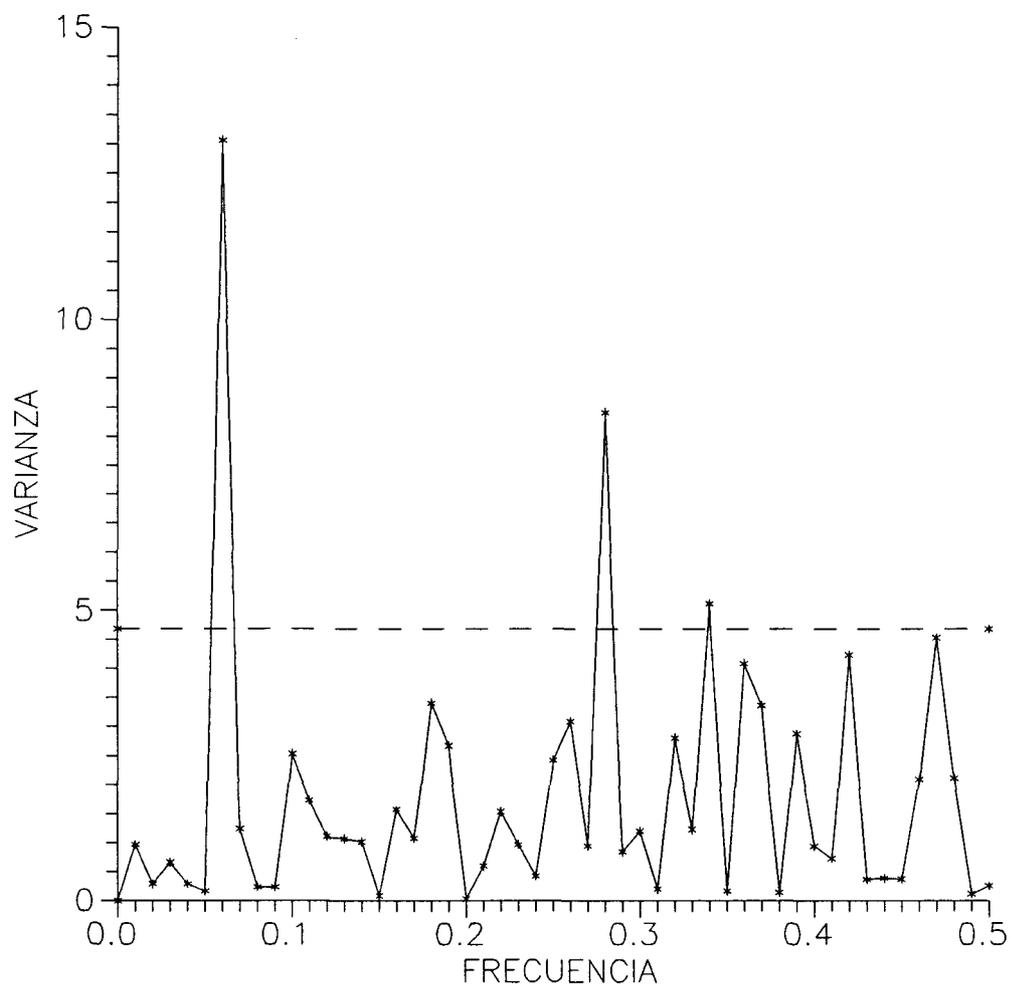


Figura IV.6.5.7.- Periodograma de la serie correspondiente al periodo 1551-1650 y a Andalucía. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

En conclusión, en el periodo en estudio en Andalucía se produjo una oscilación climática de periodicidad irregular, con periodos del orden de 2.1-2.3, 3.4-3.5 y 16.6 años. No aparecen puntos de cambio abrupto ni tendencias claramente definidas, y la variabilidad de las precipitaciones disminuyó durante la fase húmeda entre 1551 y 1650, siendo mayor en los periodos secos.

4.6.6. Correlación espacial.

De la comparación de los resultados anteriores entre las dos regiones analizadas y el conjunto de Andalucía puede obtenerse interesante información sobre la distribución espacial de los fenómenos. Las diferencias entre las regiones SW y M nos servirán para establecer hipótesis sobre los factores "forcing" a mesoscala y su influencia en el comportamiento del clima de la época.

El resultado del estudio de las sumas acumulativas de desviaciones proporciona una fecha en torno al año 1650 como probable punto de cambio climático tanto en la región M como en la SW, así como en el conjunto de Andalucía. La posibilidad de un cambio climático a mediados del siglo XVI en la región SW y en el conjunto de Andalucía queda marcada por la presencia de un máximo relativo, pero es muy dudosa en la región M.

La aplicación del test t de diferencia entre las medias confirma la existencia de un cambio entre la segunda mitad del siglo XVII y el periodo precedente en las regiones M, SW y en Andalucía. Este cambio sería hacia un descenso en el nivel de precipitaciones, y estaría marcado principalmente por la sequía de la década de los 80. La existencia de un cambio localizado hacia mediados del siglo XVI, caracterizado por un aumento de las precipitaciones respecto a la primera mitad del siglo, queda bien reflejada en la región SW, así como en el conjunto de Andalucía, pero es bastante dudosa en la región M, donde el test t de diferencia entre las medias no encuentra diferencias significativas.

Sobre el carácter del cambio, los métodos utilizados nos permiten afirmar que no se trató ni de una tendencia clara, ni de una discontinuidad. El uso de las medias móviles nos permitió caracterizar el cambio como una fluctuación (oscilación) consistente en la alternancia

entre fases húmedas y secas. En la región M se detectaron 5 fases húmedas y 4 secas, en la región SW 6 fases húmedas y 5 secas, y en el conjunto de Andalucía 4 fases húmedas y 3 secas. El mayor número en la región SW respecto a la región M se corresponde bien con el resultado general (Tabla IV.6.1) de una mayor variabilidad en la Depresión del Guadalquivir. Por otro lado, el menor número en el conjunto de Andalucía puede interpretarse como un resultado del promedio espacial de los datos, en el que algunos de los fenómenos extremos de carácter local resultan suavizados.

Igual que seleccionamos los picos significativos por su continuidad temporal, podemos hacer lo mismo por su continuidad en el espacio. Así, para la región M encontramos picos significativos en 3.5 y 7 años, para la región SW en 2-3, 3.5 y 16.6 años, y para el conjunto de Andalucía en 2-3, 3.5 y 16.6 años. El único pico común a las tres series es el correspondiente a 3.5 años. Se da una coincidencia completa entre la región SW y Andalucía en su conjunto.

En el estudio de la variabilidad de las precipitaciones, se producen tendencias opuestas entre la región M y la SW, con un descenso de la variabilidad en la región M cuando aumenta en la SW durante las fases húmedas, y viceversa en el caso de las fases secas. La región SW y Andalucía vuelven a mostrar comportamientos similares.

En general, por tanto, se observa una gran similitud entre la región SW y el análisis del conjunto de Andalucía. Ello puede deberse a la mayor proporción de noticias para esta región en el registro completo, con más peso por tanto en el análisis global, y también a razones de tipo climático. En efecto, la región SW suele considerarse (Castillo-Requena, 1989) como representativa de las condiciones climáticas generales de Andalucía, mostrando otras zonas de Andalucía tan sólo modificaciones de detalle.

El estudio de la correlación espacial entre las series se ha realizado mediante el coeficiente de correlación de Spearman, como corresponde a datos clasificados mediante una escala ordinal (Pfister, 1992). Los resultados se muestran en la Tabla IV.6.6.1. La correlación entre la región SW y Andalucía es en todos los casos superior a la que presenta la región M, algo que ya hemos visto al comparar los resultados obtenidos en las secciones

TABLA IV.6.6.1.- Coeficientes de correlación de Spearman, nivel de significado <0.0001. (* indica un nivel de significado <0.005)

Periodo	SW y M	M y Andalucía	SW y Andalucía
1501-1700	0.42	0.55	0.75
1501-1600	0.54	0.58	0.74
1601-1700	0.29*	0.53	0.75
1551-1650	0.38*	0.50	0.65

anteriores. Por otro lado, la correlación entre las regiones M y SW es menor, como corresponde a la mayor influencia de los fenómenos locales en las series regionales.

Podemos inferir, por tanto, que las condiciones generales de Andalucía están bien reflejadas por la serie de la región SW, y que la región M, peor correlacionada, muestra características ligeramente diferentes. La fluctuación climática en Andalucía estuvo marcada en la época de estudio por una fase más húmeda que comprende el periodo entre siglos 1551-1650, con periodicidades en torno a los 2-3, 3.5 y 16.6 años.

Las principales diferencias entre la región SW y la región M se refieren a la variabilidad de los datos: menor variabilidad en la región M y distinto comportamiento del rango intercuartil según consideremos fases secas o húmedas. Además, no aparece un cambio significativo a mediados del siglo XVI en la región M, ni tampoco los ciclos de 16.6 años y 2-3 años. La explicación de estas diferencias hay que buscarla en factores a mesoscala, como altitud sobre el nivel del mar, orografía, proximidad al mar, etc.

Los volúmenes de precipitación en la región M son sensiblemente inferiores a los de la región SW, a causa de la lejanía respecto a las superficies marítimas atlántica y mediterránea, y por la distancia al área depresionaria típica de los tipos de tiempo causantes de las precipitaciones en Andalucía (Castillo Requena, 1989). Además, la región M considerada en este trabajo ocupa principalmente el surco intrabético oriental, con las depresiones de Granada, Guadix y Baza, situadas entre 500 y 800 m por encima del nivel del mar (en contraste con localidades de la región SW, como Sevilla, prácticamente al nivel

del mar). Esta situación, junto al abrigo orográfico que ejerce el ángulo montañoso de las cordilleras penibéticas, provoca una escasa torrencialidad, con pocos días con precipitaciones superiores a los 100 mm. La pobreza de las precipitaciones en esta región, del orden de 400 mm anuales, y su distribución en un número de días con precipitación relativamente alto, conducen a una menor variabilidad de las precipitaciones en la región M. El aumento de la variabilidad en la región M coincidiendo con la aparición de una fase húmeda en Andalucía, puede estar relacionado con el contraste entre las situaciones normales y la mayor frecuencia de las precipitaciones en Andalucía. El descenso de la variabilidad en la región SW, en cambio, indicaría una mayor frecuencia de las situaciones sinópticas causantes de precipitaciones en la región.

4.6.7. Reconstrucción.

El desarrollo precedente no nos informa sobre valores "reales" de las precipitaciones en la época de estudio, ni nos permite establecer comparaciones con el presente. Es preciso desarrollar un método para la reconstrucción cuantitativa de las precipitaciones totales anuales en la época de estudio. En primer lugar, para cada serie histórica, debe seleccionarse una estación de referencia de la cual tengamos información meteorológica dentro del periodo instrumental (Schüle y Pfister, 1992). Esta estación debe ser lo suficientemente representativa de las condiciones climáticas de su región, así como estar convenientemente reflejada en los datos históricos. Las estaciones elegidas han sido las de Tablada (Sevilla) para la región SW, y Armilla (Granada) para la región M. Los datos modernos de precipitaciones totales anuales en mm corresponden al periodo 1871-1983 en el primer caso, y 1941-1985 en el segundo.

La reconstrucción se inicia con una fase de calibración, en la que se establece un modelo de regresión lineal entre los valores del índice y las medidas modernas de precipitaciones. Para ello, se tienen en cuenta los percentiles P_i del valor anual de las precipitaciones, siguiendo los criterios normales para caracterizar los años como muy secos, secos, normales, lluviosos y muy lluviosos (García de Pedraza y García Vega, 1989). Así, asignamos un valor del índice $I(t)$, correspondiente al año t , a los valores modernos de las precipitaciones $P(t)$ según el siguiente esquema:

Si $P(t) < P_{10}$,	$I(t) = -2,$	Año muy seco
$P_{10} \leq P(t) < P_{25},$	$I(t) = -1,$	Año seco
$P_{25} \leq P(t) < P_{75},$	$I(t) = 0,$	Año normal
$P_{75} \leq P(t) \leq P_{90},$	$I(t) = +1,$	Año húmedo
$P(t) > P_{90},$	$I(t) = +2,$	Año muy húmedo

Se establece el análisis de regresión utilizando $P(t)$ como variable dependiente e $I(t)$ como variable independiente. Este procedimiento de calibración es consecuencia del hecho de que no disponemos de un periodo de solapamiento entre las informaciones históricas y las instrumentales, como sería de desear. En la Tabla IV.6.7.1 se muestra el análisis de regresión entre el total de precipitaciones anuales en mm y el índice pluviométrico asignado, utilizando las estaciones de referencia señaladas.

TABLA IV.6.7.1.- Análisis de regresión entre las precipitaciones totales anuales (en mm) y el índice pluviométrico asignado. Para la región SW, estación de Tablada (Sevilla), periodo 1871-1983. Para la región M, estación de Armilla (Granada), periodo 1941-1985. (Nivel de confianza del 95 %).

Región SW		
Parámetro	Estimación	Error típico
Coefficiente correlación	0.94	
Ordenada en el origen (mm)	561.14	5.53
Pendiente (mm)	159.86	5.28
Región M		
Parámetro	Estimación	Error típico
Coefficiente correlación	0.94	
Ordenada en el origen (mm)	396.31	4.63
Pendiente (mm)	81.13	4.53

Los coeficientes de correlación son muy altos en ambos casos, indicando así que las ecuaciones de regresión simulan muy bien los datos. El siguiente paso es aplicar las ecuaciones de regresión a los índices elaborados para evaluar las precipitaciones en el periodo histórico. Sin embargo, las reconstrucciones obtenidas de esta manera se basan en las relaciones derivadas de los datos modernos. Antes de aceptar los resultados es necesario examinar la posible influencia de los datos modernos en las ecuaciones de regresión. Las longitudes de las series de datos modernos son diferentes para ambas regiones.

Potencialmente, las ecuaciones basadas en una serie de datos más larga y en una serie más corta, pueden ser diferentes. Además, series de datos de igual longitud, pero correspondientes a diferentes periodos pueden dar lugar a relaciones de regresión diferentes. Hay que evaluar si la longitud y selección de los datos modernos afecta de algún modo a la reconstrucción (Wang y Zhang, 1992). Para ello, dividimos la serie más larga, correspondiente a Tablada (Sevilla) en dos subseries, y volvemos a establecer las ecuaciones de regresión para cada subserie, aplicando el mismo procedimiento.

Las dos subseries son de longitud similar, una comprende los datos desde 1871 hasta 1927, y la otra desde 1928 hasta 1983. El método de asignación de los índices se ha realizado independientemente para cada serie a partir de su distribución decil. De la comparación entre las dos subseries se obtiene la influencia del periodo de registro en la reconstrucción, y mediante comparación con los resultados de la serie completa se obtiene información sobre la influencia de la longitud del registro. Los resultados se muestran en la Tabla IV.6.7.2.

TABLA IV.6.7.2.- Análisis de regresión entre las precipitaciones totales anuales (mm) y el índice pluviométrico asignado. Para la región SW, estación de Tablada (Sevilla), periodos 1871-1927 y 1928-1983. (Nivel de confianza del 95%).

Región SW, 1871-1927		
Parámetro	Estimación	Error típico
Coefficiente correlación	0.93	
Ordenada en el origen (mm)	550.07	8.40
Pendiente (mm)	162.15	8.33
Región SW, 1928-1983		
Parámetro	Estimación	Error típico
Coefficiente correlación	0.93	
Ordenada en el origen (mm)	572.40	8.66
Pendiente (mm)	161.50	8.37

Puede apreciarse que los coeficientes de correlación siguen siendo muy altos, con lo que las regresiones siguen simulando los datos muy bien. Los valores de la ordenada en el origen y la pendiente son del mismo orden que en el caso de la serie completa, con un error

típico ligeramente superior, consecuencia del menor número de datos empleado al establecer la regresión. Por tanto, podemos concluir que ni el periodo elegido ni la longitud de la serie de los datos modernos influyen en la calibración.

A partir de los índices establecidos para el periodo histórico, las ecuaciones de regresión proporcionan estimaciones cuantitativas de las precipitaciones anuales en la época de estudio. Posteriormente, se calculan los estadísticos básicos de la serie reconstruida. En las Tablas IV.6.7.3 y 4 se muestran los resultados de la reconstrucción para las regiones M y SW, respectivamente. La reconstrucción se realiza para el periodo completo, y para los tres subperiodos característicos encontrados en las secciones previas. Se añaden los estadísticos de las series modernas para poder establecer comparaciones entre pasado y presente.

TABLA IV.6.7.3.- Reconstrucción de las precipitaciones anuales (mm), región M.

Variable	1501-1550	1551-1650	1651-1700	1501-1700	1941-1985
Media	400.54	416.76	393.47	406.89	398.12
Mediana	396.31	396.31	396.31	396.31	390.60
Moda	396.31	396.31	396.31	396.31	390.60
σ	70.89	65.08	39.73	61.95	89.27
St.error	10.03	6.51	5.62	4.38	13.31
Mínimo	234.05	274.62	274.62	234.05	227.20
Máximo	558.57	558.57	477.44	558.57	629.30
Rango	324.52	283.95	202.83	324.52	402.10
P_{25}	396.31	396.31	396.31	396.31	344.10
P_{75}	396.31	472.17	396.31	396.31	459
$P_{75}-P_{25}$	0	75.86	0	0	219

Los parámetros que nos dan la estimación de las características generales de cada periodo son la media, la mediana y la moda. Siguiendo a Stringer (1972), podemos considerar como "normal" todo valor incluido en el intervalo $(P-\sigma, P+\sigma)$, donde P es el valor medio de la serie. Para el estudio de la variabilidad de las series contamos con la desviación típica, los valores máximo y mínimo y el rango intercuartílico. Las medidas de la variabilidad dadas por la desviación típica y los valores máximos y mínimos no pueden ofrecer una comparación adecuada con los valores del periodo instrumental a causa del

procedimiento de reconstrucción. En efecto, mientras que en el periodo moderno un mismo índice cubre todo un intervalo de valores de la precipitación, en los periodos históricos se corresponde con un sólo valor de las precipitaciones, por lo que este procedimiento elimina del periodo histórico valores muy extremos y resta variabilidad a los resultados. A partir de los datos de la Tabla IV.6.7.3 podemos ver que en el caso de la región M, el periodo histórico 1501-1700 fue ligeramente más húmedo que el periodo instrumental. Esta característica se muestra en la media, la mediana y la moda, excepto en la fase seca 1651-1700, en que el valor medio es ligeramente inferior al moderno. Si comparamos el intervalo $(P-\sigma, P+\sigma)$ del periodo instrumental con los correspondientes intervalos de los periodos históricos, encontramos que todos estos están incluidos en el moderno, indicando así una situación de normalidad respecto al presente. La inadecuación del uso de σ y los valores máximo y mínimo para el estudio de la variabilidad se evidencia en el menor valor de σ para las series históricas, así como en que el mínimo histórico es siempre mayor que el moderno, mientras que el máximo histórico es menor que el moderno, con lo que el rango total de los periodos históricos será siempre menor que el de la serie instrumental. Este problema se evita en parte al considerar el rango intercuartil, puesto que este valor proporciona información sobre el 50% central de la información. El rango intercuartil es inferior en todos los periodos históricos al moderno, pero en la fase húmeda 1551-1650, está desplazado hacia valores más húmedos, con un valor del tercer cuartil superior al del periodo instrumental. Esto nos indica durante este periodo un comportamiento más lluvioso que en la actualidad.

La Tabla IV.6.7.4 nos ofrece la comparación de las reconstrucciones de los periodos históricos con el periodo instrumental para la región SW. El valor medio de las precipitaciones fue ligeramente inferior al moderno durante la fases secas 1501-1550 y 1651-1700, y superior en el periodo intermedio. En este periodo, el intervalo $(P-\sigma, P+\sigma)$, aunque solapa con el correspondiente intervalo moderno, no está incluido en él, desplazándose hacia valores más altos, lo cual indica una pluviosidad mayor de la normal en esta región y durante este periodo. En cuanto al análisis de la variabilidad, el rango intercuartílico es superior en todos los periodos históricos al moderno, salvo en el caso de 1551-1650, donde la variabilidad es menor. Mientras que para las fases secas el primer cuartil es inferior y el tercer cuartil superior a los correspondientes modernos, para la fase húmeda y para el conjunto del periodo histórico, el intervalo intercuartílico está desplazado hacia valores

TABLA IV.6.7.4.- Reconstrucción de las precipitaciones anuales (mm), región SW.

Variable	1501-1550	1551-1650	1651-1700	1501-1700	1871-1983
Media	555.80	613.47	554.20	584.24	561.14
Mediana	561.14	561.14	561.14	561.14	548.80
Moda	561.14	561.14	401.28	561.14	546.30
σ	149.85	148.79	155.92	152.93	178.10
St.error	21.19	14.88	22.05	10.81	16.75
Mínimo	241.42	401.28	401.28	241.42	158.60
Máximo	880.86	880.86	880.86	880.86	1063
Rango	401.28	479.58	479.58	639.44	904.40
P ₂₅	401.28	561.14	401.28	441.25	438
P ₇₅	721	721	700.22	721	657
P ₇₅ -P ₂₅	319.72	159.86	298.94	279.76	219

mayores de la precipitación, con un primer cuartil superior. Estos resultados nos permiten asegurar que el periodo histórico fue de una mayor variabilidad durante las fases secas y de unas precipitaciones por encima de lo normal en el periodo intermedio.

El comportamiento de las series históricas respecto a los valores de la serie instrumental se representa en las Figuras IV.6.7.1 (región M) y IV.6.7.2 (región SW), donde se representa el valor de la media móvil de 10 años de la desviación de los valores anuales de precipitaciones para el periodo histórico respecto al valor de la mediana de la serie instrumental. Se ha elegido la mediana como valor central de la serie instrumental ya que, como se indicó en secciones precedentes, constituye un parámetro más fiable que el valor medio para representar las características medias de las precipitaciones.

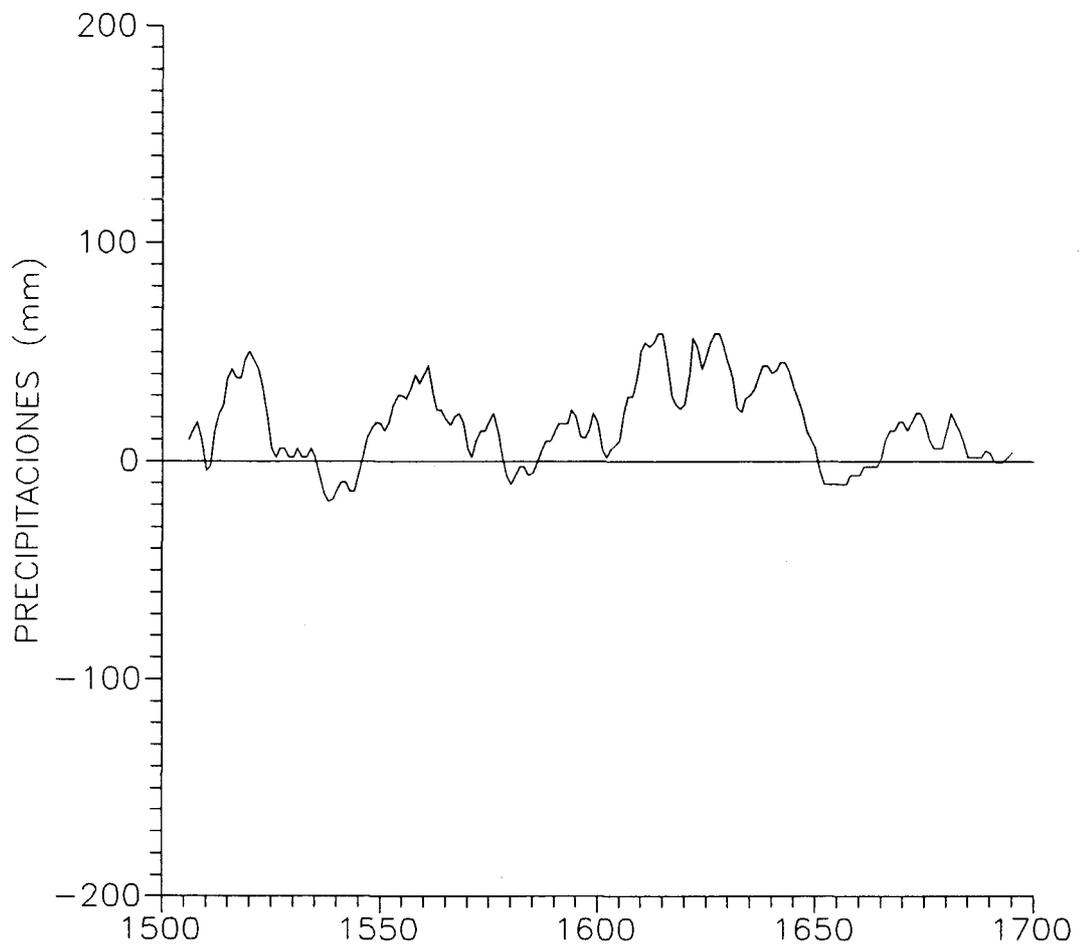


Figura IV.6.7.1.- Estimación de las precipitaciones para la región M (medias móviles de 10 años) expresadas como desviaciones respecto a la mediana del periodo 1941-1985.

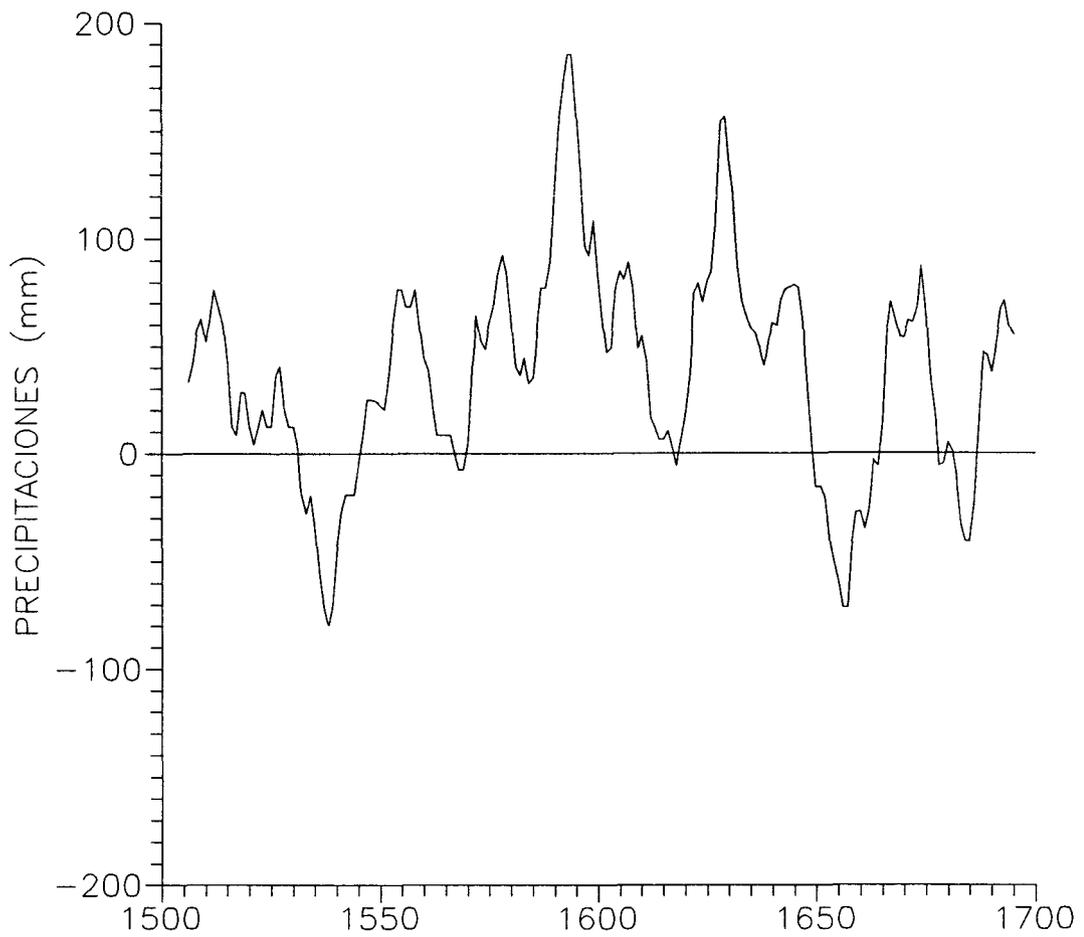


Figura IV.6.7.2.- Estimación de las precipitaciones para la región SW (medias móviles de 10 años) expresadas como desviaciones respecto a la mediana del periodo 1871-1983.

4.6.8. Verificación.

Las reconstrucciones presentadas no pueden considerarse como fiables a menos que se proceda a un método de verificación adecuado. La prueba absoluta de fiabilidad consiste en el acuerdo con datos instrumentales contemporáneos al periodo de análisis. Como éste no es nuestro caso, debemos proceder a examinar los resultados de otros "proxy", derivados de fuentes completamente diferentes a las utilizadas (Fritt, 1979; Wang y Zhang, 1992). Sólo la síntesis de varios indicadores diferentes proporciona resultados seguros (Glaser y Hagedorn, 1991). Por otra parte, los distintos datos "proxy" proporcionan reconstrucciones de variables climatológicas de diferente carácter. Así, por ejemplo, el análisis del crecimiento de anillos de árboles de varias especies de pino en la Península Ibérica puede ser un "proxy" para las lluvias de verano (Richter y Eckstein, 1990), estación del año para la que hemos encontrado menos noticias (Tablas IV.3.2 y ss.). En consecuencia, la reconstrucción resultante del método de las desviaciones correlaciona de forma general con los datos derivados de otros registros, y un análisis estadístico de esta correlación no es posible (Baron, 1992).

En el caso de Andalucía contamos con dos indicadores paleoclimáticos útiles para la comparación, al menos parcialmente. Uno de ellos es el análisis de la producción cereal, estudiado en el Capítulo III de esta Memoria; el otro es el análisis de anillos de árboles del *Pinus nigra Arnold* de la Sierra de Cazorla, llevado a cabo por Creus y Puigdefábregas (1984).

En el estudio de la producción cereal en Andalucía, ya vimos la respuesta no lineal de la planta a las inclemencias meteorológicas, pero se destacaba el importante papel de las precipitaciones a la hora de explicar las fluctuaciones de corto periodo de las series de diezmos. El análisis de las concordancias entre un tipo de datos y otro no es posible de una forma exhaustiva por varias razones: en primer lugar, no sólo las precipitaciones afectaban a la producción agrícola, también otros factores, tanto climáticos como no-climáticos, y nuestro modelo de relaciones clima-producción agrícola es incapaz de delimitar los distintos factores que influyeron, es decir, de separar la "señal" de las precipitaciones del "ruido" constituido por los otros factores. En segundo lugar, aunque la producción cereal pudiera

utilizarse como "proxy" de las precipitaciones, éstas corresponderían a la estación de crecimiento del cereal, es decir, de Octubre a Junio, y nuestros datos se basan en reconstrucciones que contemplan el periodo de Diciembre a Noviembre del año siguiente. Esto provoca un desfase entre los resultados de un tipo de datos y otro, desfase que, teniendo en cuenta el papel de las lluvias del otoño en el crecimiento de la planta, puede llegar a ser de hasta 1 año.

Sin embargo, se aprecian interesantes coincidencias entre las tendencias generales de ambos tipos de datos. Si comparamos las Figuras III.4.1 (diezmo del trigo en el periodo 1587-1793) y IV.6.7.2 podemos observar un comportamiento bastante similar. El descenso en las precipitaciones alrededor de 1585 concuerda con la disminución en la producción de trigo. Igualmente, la sequía de 1605 que provoca un mínimo en la serie de cereal (Figura III.4.3), lleva asociado un mínimo relativo en la serie reconstruída. El incremento de las precipitaciones alrededor de 1630 (máximo relativo en la Figura IV.6.7.2) coincide con el máximo absoluto de la serie de diezmos (Figuras III.4.1 y III.4.4). La tendencia en general descendente del ritmo de precipitaciones anuales desde esta fecha hasta el mínimo centrado en 1655 se aprecia también y de forma acusada en la serie de producción cereal. Finalmente, el mínimo correspondiente a la sequía de la década de los 80 en el siglo XVII, y la posterior tendencia creciente se observan en ambos tipos de datos (Figura III.4.5).

El análisis de Creus y Puigdefábregas (1984) de series de anillos de árboles de la Sierra de Cazorla ofrece un "proxy" para las precipitaciones desde el otoño hasta el verano siguiente. Estos autores establecen un índice de anchura de anillo para el *Pinus nigra Arnold*, a partir del cual obtienen inferencias sobre el comportamiento del clima en el último milenio. La Sierra de Cazorla pertenece a la región R-3, y, dada su orientación geográfica y su altitud, refleja de manera más fiel las condiciones pluviométricas de la región SW que las de la región M (Castillo Requena, 1989). La media móvil de 10 años del índice de anchura de anillo, calculada a partir de los datos de Creus y Puigdefábregas, se representa en la Figura IV.6.8.1, donde se ha representado también para mayor claridad en la interpretación el valor medio de los datos para el periodo en estudio. Según estos autores, los máximos de este índice se corresponden con un régimen de otoños lluviosos, primaveras tempranas y veranos secos, mientras que los mínimos

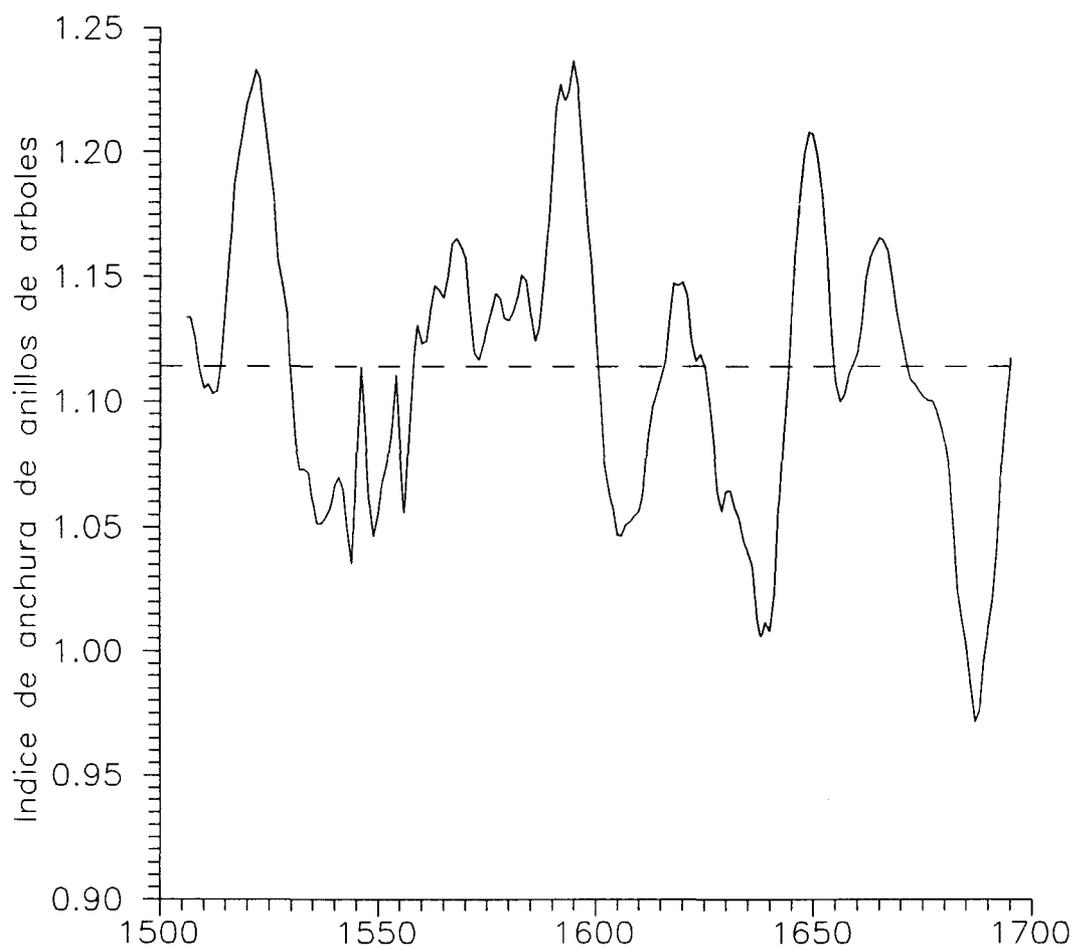


Figura IV.6.8.1.- Media móvil de 10 años del índice de anchura de anillos de árboles, *Pinus Nigra Arnold*, Sierra de Cazorla (datos de Creus Novau y Puigdefábregas Tomás, 1984).

están asociados a situaciones de bloqueo de la circulación zonal, típicas de condiciones de sequía y esporádicos fenómenos convectivos estivales.

Si comparamos las figuras IV.6.7.2 y IV.6.8.1, encontramos una gran similitud entre el comportamiento de nuestros datos y el del índice de anchura de anillos de árboles. Los valores absolutos no correlacionan de forma exacta, pero esto es lógico dada la influencia que en el crecimiento de los árboles tienen otros factores, como por ejemplo, el crecimiento del año anterior o las temperaturas medias de los meses primaverales. Las similitudes se producen en la localización de los máximos y mínimos relativos. Así, ambas series presentan un mínimo claro coincidiendo con las situaciones de sequía de alrededor de 1540, 1655 y 1680. Los mínimos de anillos de árboles situados hacia 1605 y 1640 se corresponden con mínimos relativos en la serie histórica. El valor histórico negativo situado alrededor de 1575 se corresponde con un mínimo relativo de la serie de anillos de árboles. En ambas series tenemos un mínimo relativo situado alrededor de 1585. En cuanto a los máximos, el comportamiento de las series es también paralelo, mostrando máximos relativos a comienzos del siglo XVI, alrededor de 1560, 1580, 1590, 1650, 1670 y el final del registro. La única discrepancia de importancia es la situación de sequía de 1620, no recogida por los anillos de árboles, pero el máximo relativo correspondiente al periodo 1600-1650 aparece en ambas series. La serie de la región M (Figura IV.6.7.1), al Sur de la Sierra de Cazorla, presenta una evolución similar a la de la región SW, aunque con una amplitud de las oscilaciones muy aminorada, como consecuencia de la menor pluviometría de esta región, por lo que los datos de anillos de árboles sirven también para contrastar esta serie.

La conclusión general de los trabajos de Creus y Puigdefábregas (1976, 1984) sobre la Pequeña Edad de Hielo en el Sur de la Península Ibérica es un aumento de las precipitaciones, con las anomalías pluviométricas dominando a las térmicas. Estas conclusiones también pueden extraerse de nuestros datos. Los índices anuales de anillos de árboles presentan un máximo primario durante la segunda mitad del siglo XVI. Nuestros resultados, que presentan un periodo húmedo entre 1550 y 1650, con diferencias estadísticamente significativas respecto a los periodos más secos previo y posterior, en la región SW y considerando Andalucía globalmente, concuerdan con este resultado.

La comparación con lo que ocurrió en otras zonas, próximas a Andalucía pero de características climáticas diferentes, puede dar una idea de la extensión espacial de los fenómenos y servir como elemento complementario de contrastación. Alvarez Vázquez (1986) estudió la frecuencia de rogativas y procesiones provocadas por sequías y/o fuertes lluvias en la provincia de Zamora, durante los siglos XVII, XVIII y XIX. Esta región está situada en la denominada "España parda" (Font Tullot, 1989), con precipitaciones anuales comúnmente por debajo de los 300 mm (Capel Molina, 1983). Las condiciones climáticas son sensiblemente diferentes a las andaluzas, por lo que una correspondencia exacta entre los fenómenos de ambas zonas no es de esperar. Sin embargo, algunas situaciones que afectaron a Andalucía tuvieron una extensión mayor, abarcando a la totalidad de la Península Ibérica. Es el caso de las lluvias e inundaciones de 1626, conocido como el "año del diluvio" (Font Tullot, 1988). En la provincia de Zamora aparecen sequías destacables coincidiendo con las principales fases secas detectadas en Andalucía, como por ejemplo en los años 1620, 1623, 1650-1655, 1680-1691. Años húmedos, acompañados en ocasiones por inundaciones del río Duero, aparecen en la segunda mitad del siglo XVI (1556, 1586, 1597), en la primera mitad del XVII (1611, 1621, 1626, 1633-36) y a finales de siglo (1677, 1695), coincidiendo con los máximos de nuestro índice. Este autor detecta un predominio de años secos (20) sobre húmedos (7) en la segunda mitad del siglo XVII, coincidiendo con el periodo seco detectado en Andalucía a partir de nuestros datos.

En su análisis de series cuantitativas de precios del trigo en Barcelona durante el siglo XVI, E. Giralt (1958) detecta una sucesión de primaveras frías y húmedas alrededor de 1570, coincidiendo con situaciones similares en Bélgica, sur y norte de Francia (Le Roy Ladurie, 1983), después de una fase seca y árida desde 1530 a 1550. La disminución de las sequías y el aumento de las lluvias en Barcelona se acentuó en el decenio de 1590.

En conclusión, los resultados de nuestra reconstrucción se ven verificados en términos generales por los resultados procedentes del estudio de la producción cereal en Sevilla y los anillos de árboles de Sierra de Cazorla. La coincidencia con la aparición de sequías e inundaciones en otras zonas de la Península, como la Meseta Norte o Cataluña, indica la mayor extensión espacial de algunos de estos fenómenos, y sirve como elemento complementario de contrastación para nuestros resultados.

4.6.9. Distribución estacional de las anomalías pluviométricas.

El periodo en estudio se caracteriza no sólo por la variabilidad geográfica e interanual en la distribución de las anomalías atmosféricas, sino también por la variabilidad intra-anual en diferentes países de Europa (Borisenkov, 1992; Camuffo y Enzi, 1992). A continuación, analizamos la distribución de las anomalías pluviométricas para las cuales hemos podido especificar la estación del año en que ocurrieron. Nos centraremos en aquellas estaciones del año cuyo índice pluviométrico sea distinto de cero (Apéndice III). La distribución de las anomalías de carácter térmico ya fue estudiada en el epígrafe 4.5. La Tabla IV.6.9.1 resume la distribución estacional de las principales anomalías detectadas en la región M y en la región SW.

El examen de esta tabla nos permite observar un predominio de las anomalías positivas sobre las negativas, con un 66% de anomalías positivas para la región M y un 64% para la región SW. Las anomalías positivas duplican a las negativas en ambas regiones, como se corresponde con los resultados mostrados en el capítulo anterior, en el sentido de un aumento de las precipitaciones en la época de estudio, y sobre todo en el periodo central 1551-1650. Por otro lado, en ambas regiones, el predominio de la información corresponde al invierno y la primavera, con porcentajes que superan el 30% del total, mientras que el verano y el otoño muestran valores apreciablemente más bajos. Esto se corresponde con el interés de los autores de las fuentes por la marcha del año agrícola, y en concreto por aquellas estaciones del año de mayor interés para la marcha de los cultivos. Esta situación se reproduce en la distribución estacional de las anomalías positivas y negativas, en ambas regiones. En las dos regiones, el número de primaveras con índice negativo prácticamente duplica al número de inviernos con $I < 0$, lo cual indica el mayor peso de las sequías primaverales, y su inmediato impacto en la frágil agricultura de la época.

El importante papel de las sequías primaverales puede apreciarse también si se compara el número de primaveras de valor positivo del índice con el número de primaveras de valor negativo. En la región M las primaveras negativas superan a las positivas, mientras que en la región SW son del mismo orden. En cuanto a los inviernos, fueron en general más húmedos en ambas regiones, con los inviernos positivos prácticamente duplicando o incluso

TABLA IV.6.9.1.- Distribución estacional de las principales anomalías pluviométricas detectadas en las regiones M y SW. (Núm.(%) expresa el número de estaciones con $I \neq 0$ y el porcentaje respecto al total. $I > 0$ (%) se refiere al número de estaciones con $I > 0$ y porcentaje respecto al número total de estaciones de índice positivo. % est. expresa para cada estación el porcentaje de anomalías positivas. Análogamente con los índices negativos).

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Total
Región M					
Núm.(%)	34(32)	36(34)	13(12)	22(22)	105
$I > 0$ (%)	24(35)	17(25)	12(17)	16(23)	69(66)
%est.	71	47	92	73	
$I < 0$ (%)	10(28)	19(53)	1(3)	6(17)	36(34)
%est.	29	53	8	27	
Región SW					
Núm.(%)	46(32)	63(44)	10(7)	25(17)	144
$I > 0$ (%)	31(34)	32(35)	10(11)	19(21)	92(64)
%est.	68	51	100	76	
$I < 0$ (%)	15(29)	31(60)	0(0)	6(11)	52(36)
%est.	33	49	0	24	

superando el doble del número de inviernos negativos. Los veranos en ambas regiones sólo registran anomalías positivas, que posiblemente correspondan a fenómenos convectivos, salvo un caso en la región M, que corresponde al verano de 1689, cuando hubo quejas al Cabildo de Loja por la sequía el 15 de Junio y el 1 de Julio (C-1). Esta situación posiblemente corresponde a las consecuencias de una sequía en los meses previos, que produciría una mala cosecha al comienzo del verano. En el caso del otoño, las anomalías positivas prácticamente triplican a las negativas en ambas regiones.

En consecuencia, puede apreciarse que, en cuanto al comportamiento estacional de las principales anomalías detectadas, se observa el predominio de lluvias durante el otoño y el invierno, alternancia de lluvias y sequías en el caso de la primavera y, finalmente, aparición de esporádicos sucesos lluviosos en verano, posiblemente relacionados con la aparición de tormentas convectivas. Ambas regiones presentan un comportamiento similar en cuanto a la distribución estacional de las principales anomalías detectadas.

Con el objeto de analizar el impacto en los registros de los fenómenos estrictamente locales, se ha realizado la comparación de los valores de los índices estacionales de ambas regiones. En sólo 44 estaciones del año se han encontrado valores del índice distintos de cero en las dos regiones simultáneamente, de las cuales se aprecian coincidencias de signo en 39 ocasiones y discordancias en sólo 5 ocasiones: Primavera de 1591 ($I(SW)=0.5$, $I(M)=-1$), Primavera de 1602 ($I(SW)=-1$, $I(M)=1$), Invierno de 1629 ($I(SW)=1$, $I(M)=-1$), Primavera de 1646 ($I(SW)=-1$, $I(M)=1$) y Primavera de 1685 ($I(SW)=-1$, $I(M)=1$).

En la primavera de 1591 las diferencias se deben al irregular carácter de esta primavera, con avenidas del Guadalquivir durante el mes de Marzo (C-1, C-2), y rogativas pidiendo lluvia a San Isidro en Ubeda en el mes de Mayo. En la región M las rogativas motivadas por la sequía se realizaron en localidades como Guadix, Abia o Fiñana el 2 de Junio (C-1). En el caso de la primavera de 1602 contamos con noticias correspondientes a meses diferentes. En Marzo hubo rogativas debidas a la sequía en Jerez de la Frontera, región SW, y a finales de Mayo lluvias intensas en Loja, región M (C-1). En el invierno de 1629 las noticias de sequía corresponden a Loja, con rogativas el 6 de Enero (C-1), y las lluvias intensas se atribuyen al conjunto de la Cuenca del Guadalquivir (C-2) durante el invierno. Las noticias de la primavera de 1646 se refieren a intensas lluvias en Loja durante el mes de Marzo, que causarían pobres cosechas ese año (C-1) y a inundaciones en Sevilla durante la primavera, junto a rogativas provocadas por sequía el 2 de Mayo en Arcos de la Frontera (C-1). En la primavera de 1685 encontramos noticias claras de sequía en Córdoba y en Jaén (C-1), y en Sevilla (AU-3, C-2). Esta sequía también se detectó en Loja, con rogativas el 28 de Abril, pero fue interrumpida por la aparición de lluvias torrenciales el 20 de Mayo (C-1). Como vemos, las posibles contradicciones entre los valores de los índices de las dos regiones están principalmente causadas por fenómenos que ocurrieron en meses diferentes. Además, aparecen cuando tenemos en cuenta las noticias registradas en las compilaciones modernas, lo cual puede ser el resultado de errores por parte de los compiladores. Fontana Tarrats (C-1), sin embargo, a excepción de Ubeda, recoge sus noticias de fuentes fiables, como son los archivos municipales de Loja, Jerez y Arcos de la Frontera. Podemos interpretar entonces estas discordancias como el resultado de estaciones especialmente variables, con sucesos de distinto signo a lo largo de sus meses, y en distintos lugares.

Las 39 coincidencias suponen un 27% de las estaciones para la región SW y un 37% para la región M. En el resto de las ocasiones, una anomalía en una región corresponde con una situación "normal" en la otra ($I=0$), y no a una anomalía de signo opuesto. En esta situación tenemos un 63% de las estaciones para la región SW y un 53% para la región M. Estos porcentajes o bien indican el marcado carácter local de la mayoría de los fenómenos registrados, o bien son consecuencia de la dispersión de las noticias estacionales encontradas, en el sentido de que una noticia correspondiente a una de las regiones puede coincidir con la falta de información para la misma estación en la otra región.

En la Tabla IV.6.9.2 se muestran los casos de coincidencia, especificando el año, la estación particular, y el valor del índice asignado a cada región (Apéndice III). De las 39 coincidencias encontradas, 25 corresponden a anomalías positivas y 14 a anomalías negativas, lo cual correspondería a un predominio de lluvias generalizadas en ambas regiones, respecto a las situaciones de sequía. Entre las anomalías positivas, 9 corresponden al invierno, 8 al otoño, 7 a la primavera, y 1 al verano, mostrando una distribución estacional similar a la encontrada en la Tabla IV.6.9.1. Entre las anomalías negativas, destaca la primavera con 10 casos, seguida del invierno con 3 y el otoño con 1, reflejando así el mayor peso de las sequías primaverales frente a otras estaciones del año. Entre las anomalías de igual signo para ambas regiones encontramos algunas que, a "grosso modo", corresponden a los principales máximos y mínimos encontrados en las series anuales. Así ocurre, por ejemplo, con las sequías primaverales de 1542, 1605 y 1641, correspondientes a mínimos en la serie anual, o con las lluvias intensas en 1544, 1545, 1590, 1618 y 1626, que corresponden a máximos de la serie anual, o bien a periodos de tendencia creciente de las precipitaciones, como en la primera mitad del siglo XVII.

En el análisis previo nos hemos centrado en las regiones SW y M, por ser las que poseen más información del conjunto de registros. La importancia de los fenómenos locales queda reflejada en los bajos porcentajes de estaciones con índice pluviométrico de igual signo en ambas regiones.

TABLA IV.6.9.2.- Anomalías pluviométricas coincidentes en ambas regiones durante el periodo en estudio.

AÑO	ESTACION	I(SW)	I(M)
1504	Otoño	1	2
1505	Invierno Primavera	1 1	2 1
1506	Invierno Primavera	-2 -2	-2 -2
1520	Invierno	1	2
1528	Invierno Primavera	-1 -1	-1 -1
1542	Primavera	-1	-1
1544	Invierno Primavera Otoño	1.25 1 1	1 1 1
1545	Invierno Primavera Verano	2 1 0.6	1 1 0.6
1561	Primavera	-1	-1
1562	Otoño	1	1
1589	Primavera	-1	-1
1590	Invierno Primavera Otoño	2 2 1	1.5 1.5 2
1595	Otoño	2	1
1604	Otoño	-1	-1
1605	Invierno Primavera Otoño	-0.9 -0.5 2	-1.12 -1 1
1616	Primavera	-1	-1
1617	Primavera Otoño	-1 2	-2 2
1618	Invierno Primavera	1.5 2	2 2
1626	Invierno	2	2
1627	Primavera	2	2
1635	Invierno	1	2
1641	Primavera	-0.5	-1
1642	Invierno	2	1.37
1646	Otoño	1	2
1671	Primavera	1	1
1699	Primavera	-0.5	-1

La suavización de los fenómenos estrictamente locales se consigue mediante el promedio espacial de los registros. Así pues, el análisis de la distribución estacional de las principales anomalías en toda Andalucía puede proporcionar resultados más generales, al mismo tiempo que contemplar otras zonas no comprendidas en las regiones M y SW, principalmente la región R-5, donde se han encontrado bastantes noticias referidas a la ciudad de Málaga. En la Tabla IV.6.9.3 se muestra la distribución estacional de las anomalías encontradas en Andalucía durante la época de estudio.

Los resultados, como era de esperar, coinciden en líneas generales con los de las regiones SW y M. Las anomalías positivas dominan a las negativas, constituyendo aproximadamente el doble, y se observa un predominio del invierno y la primavera respecto al otoño y el verano. Entre las anomalías positivas aparece un notable crecimiento en el número correspondiente al otoño, que supera incluso a la primavera, lo cual está relacionado con la aportación de las noticias de la región R-5, indicando el papel destacable de las lluvias otoñales en la costa mediterránea. Esto se refleja también si comparamos el número de anomalías positivas y negativas del otoño, donde las positivas cuatriplican a las negativas. Para el resto de las estaciones los resultados son análogos a los registrados en la Tabla IV.6.9.1, es decir, los inviernos húmedos duplican a los secos, y el número de primaveras secas es del mismo orden que el de primaveras húmedas.

TABLA IV.6.9.3.- Distribución estacional de las principales anomalías pluviométricas detectadas en Andalucía. (Núm.(%) expresa el número de estaciones con $I \neq 0$ y el porcentaje respecto al total. $I > 0$ (%) se refiere al número de estaciones con $I > 0$ y porcentaje respecto al número total de estaciones de índice positivo. % est. expresa para cada estación el porcentaje de anomalías positivas. Análogamente con los índices negativos).

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Total
Núm(%)	73(34)	73(34)	23(10)	48(22)	217
$I > 0$ (%)	52(35)	36(24)	22(15)	38(26)	148(68)
%est.	71	49	96	79	
$I < 0$ (%)	21(30)	37(54)	1(1)	10(15)	69(32)
%est.	29	51	4	21	

El análisis de la contribución de cada una de las estaciones del año a las precipitaciones totales anuales estudiadas en secciones anteriores puede realizarse mediante

la comparación de las series temporales correspondientes a cada estación del año. Las conclusiones no pueden considerarse como definitivas y hay que tomarlas con cierta cautela dados los bajos porcentajes de noticias de precisión estacional (Tabla IV.3.4). En las figuras IV.6.9.1 a 4 se muestran las medias móviles de 10 años correspondientes, respectivamente, al invierno, la primavera, el verano y el otoño. En la serie invernal (Figura IV.6.9.1), la tendencia decreciente a lo largo del siglo XVI se muestra más prolongada que en la serie anual (Figura IV.6.5.3), durando hasta aproximadamente 1575, año a partir del cual se produce un crecimiento de las precipitaciones prácticamente generalizado hasta el final del registro, a excepción del mínimo alrededor del 1600, que coincide con un mínimo relativo de la serie anual. El mínimo invernal relativo situado hacia 1650 coincide con un mínimo de la serie anual, al igual que el situado en torno a 1690. Los máximos de ~1590 y ~1635 coinciden en ambas series, y el máximo anual alrededor de 1565 no se detecta en invierno.

La primavera (Figura IV.6.9.2) muestra una tendencia decreciente a lo largo del siglo XVI, que se prolonga hasta ~1620, fecha en que se produce un aumento de las precipitaciones. Las oscilaciones que aparecen a partir de este punto son similares a las de la serie anual, con máximos alrededor de 1630, y 1660-1670. El mínimo en torno a 1540 coincide con el anual. El comportamiento es sensiblemente distinto al anual durante la segunda mitad del siglo XVI y primeros años del XVII. Esto indica un claro predominio de las lluvias de invierno sobre las primaverales al menos desde la década de los 1570 hasta la década de los 1620.

En la Figura IV.6.9.3 se presenta la media móvil de 10 años correspondiente al verano, estación para la que hemos encontrado menos noticias. No se aprecian valores negativos del índice, como corresponde a la "normalidad" de los veranos secos en Andalucía. Los valores positivos indican la aparición de lluvias tormentosas y fenómenos convectivos, entre los cuales merecen cierta atención los correspondientes a finales del siglo XVI, y la mayor frecuencia registrada en el siglo XVII. Esto puede estar relacionado con una mayor aparición de noticias relativas al verano en el siglo XVII, y no con un fenómeno específicamente climático, por lo que la conclusión de una mayor actividad pluviométrica en verano a lo largo del siglo XVII debe considerarse con cautela.

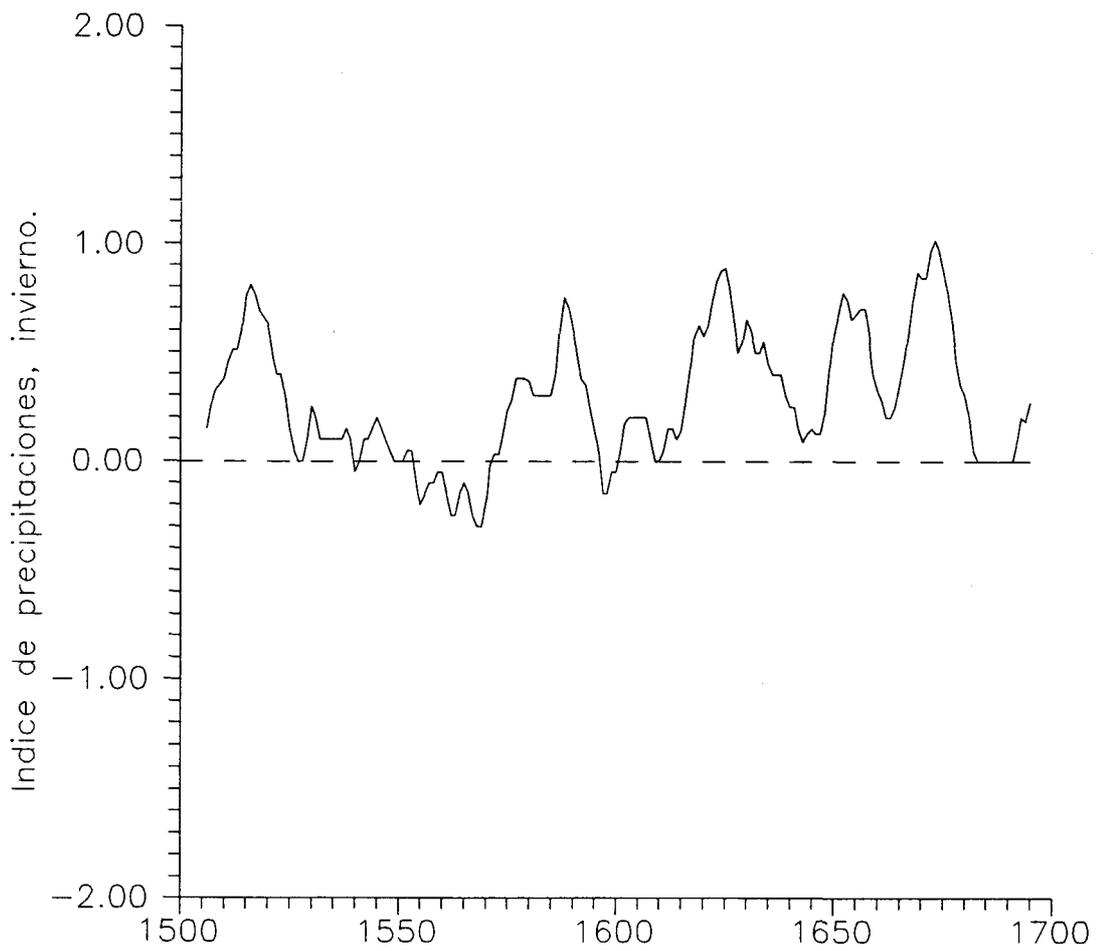


Figura IV.6.9.1.- Indice de precipitaciones de invierno, media móvil de 10 años.

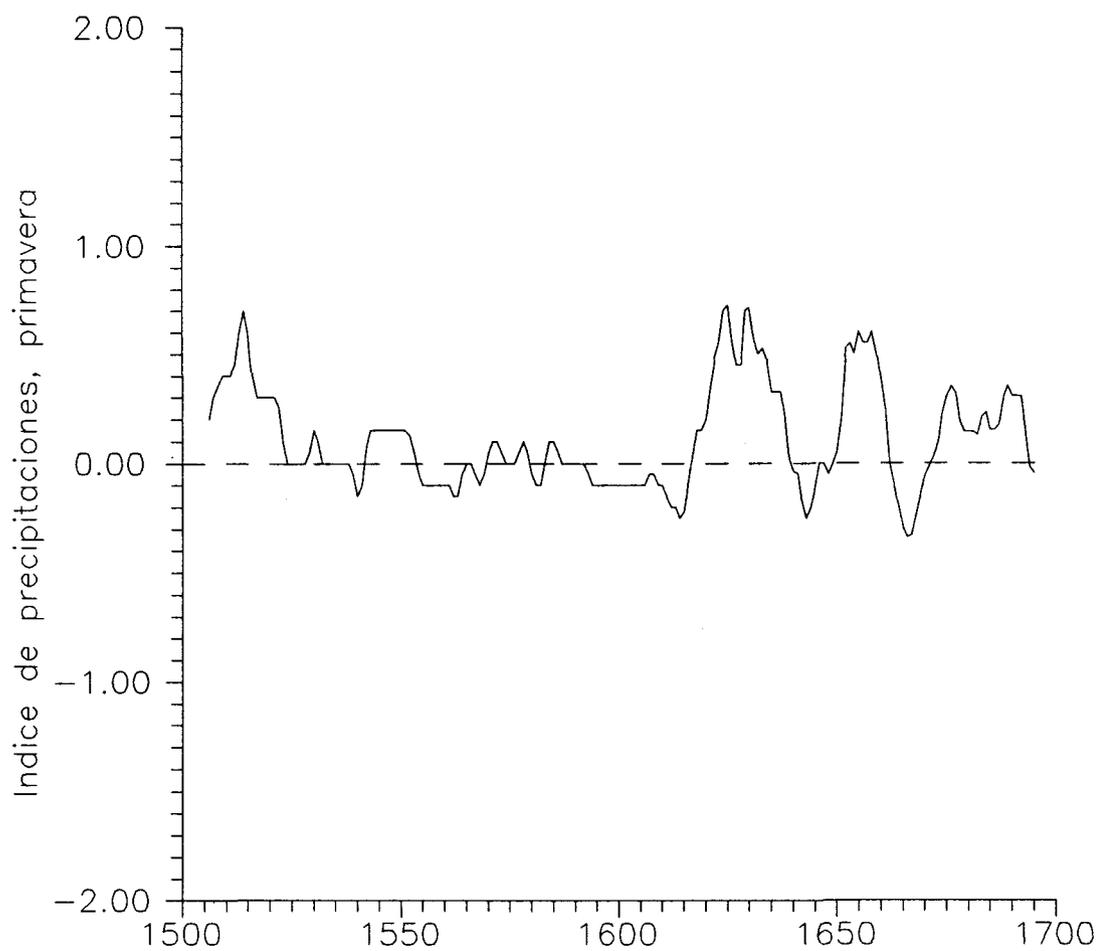


Figura IV.6.9.2.- Indice de precipitaciones de primavera, media móvil de 10 años.

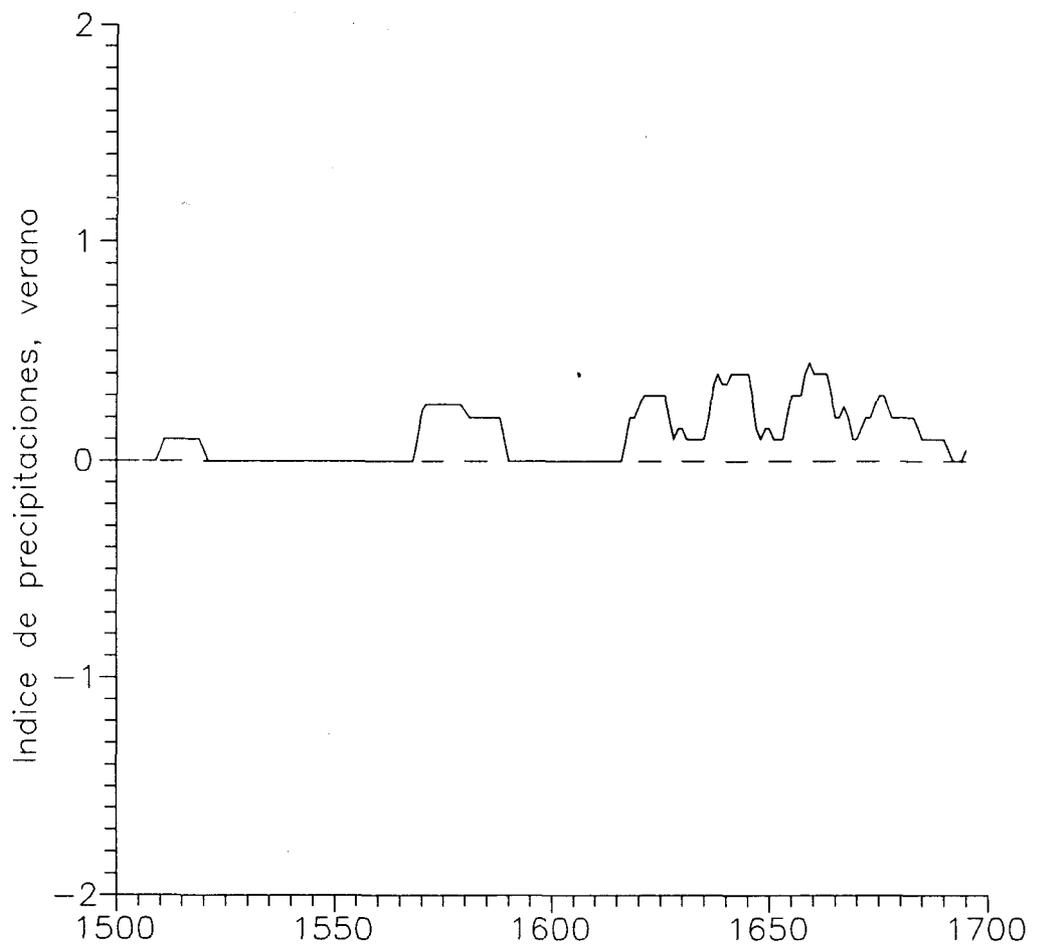


Figura IV.6.9.3.- Indice de precipitaciones de verano, media móvil de 10 años.

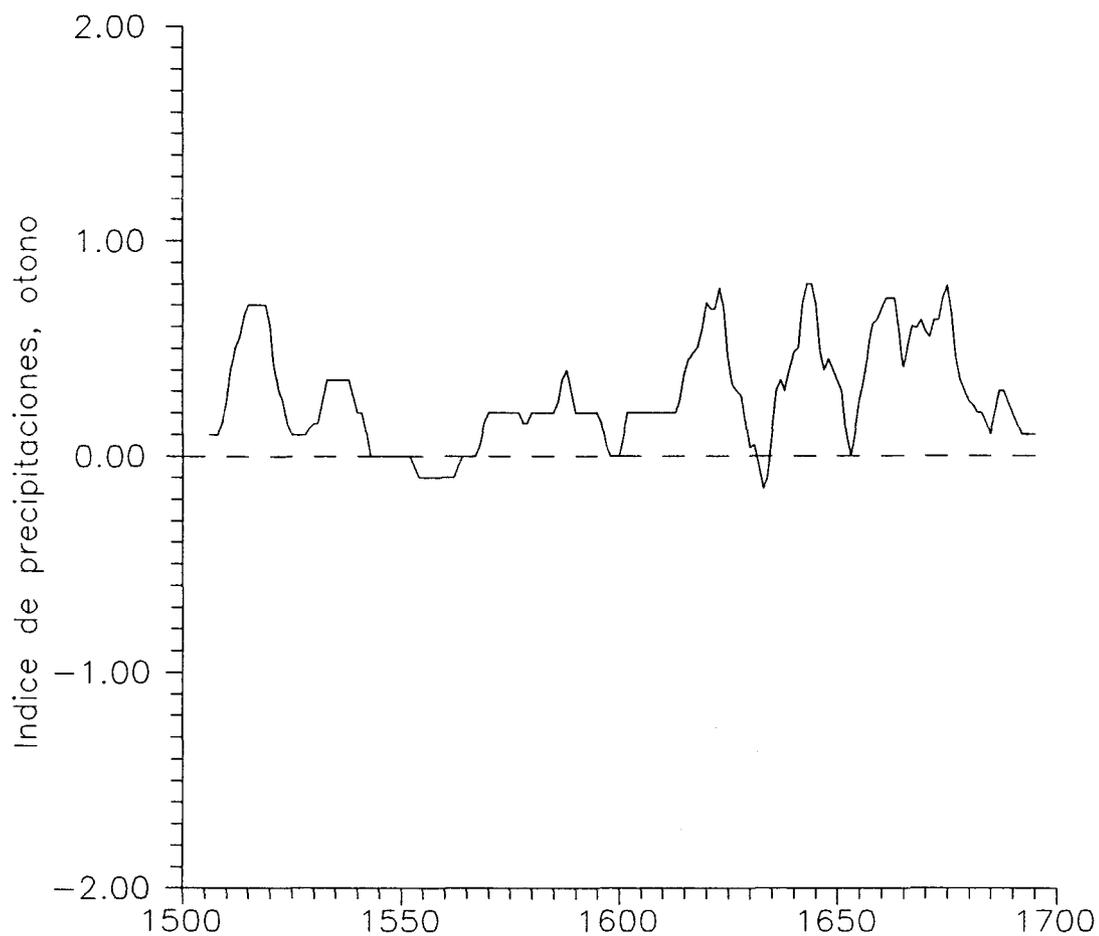


Figura IV.6.9.4.- Indice de precipitaciones de otoño, media móvil de 10 años.

La Figura IV.6.9.4 muestra la evolución de la media móvil de 10 años del índice de precipitaciones otoñales. Se observa un aumento de las precipitaciones a partir de ~ 1575, con oscilaciones que encuentran sus principales mínimos en torno a 1605, 1635, 1655 y 1690, y máximos alrededor de 1590, 1625, 1645 y 1675, coincidiendo con la serie anual.

Cuanto más retrocedemos en el tiempo más difícil es encontrar un número suficientemente elevado de noticias con precisión temporal detallada. Esto lleva a las diferencias encontradas entre la serie anual y las series estacionales. Las ligeras discrepancias entre la serie anual y las de invierno y otoño pueden deberse por tanto a la mayor dispersión de las noticias estacionales antes de 1570. No obstante, existe un claro paralelismo entre las series de invierno y otoño y la anual a partir de esta fecha. A partir de 1620 este paralelismo se encuentra en todas las series estacionales.

La serie de primavera es la que muestra un comportamiento más desviado respecto a la serie anual, sobre todo en el siglo XVI. Los valores frecuentemente negativos indican un predominio de situaciones de sequía, que ya se reflejaba en el análisis de la Tabla IV.6.9.3. La principal contribución a las precipitaciones totales anuales en este periodo, por tanto, corresponde al invierno y al otoño. Esta conclusión no puede considerarse como definitiva dados los bajos porcentajes de noticias con precisión estacional. Sin embargo, podemos intentar una validación, aunque sólo sea aproximada, de la serie primaveral, comparándola con el análisis de algún dato "proxy" que refleje principalmente las condiciones de primavera.

El "proxy" elegido para esta validación es la serie de fechas de la vendimia en Valladolid (Benassar, 1967). Según Le Roy Ladurie (1983), las fechas de la vendimia constituyen un eficaz "proxy" para las condiciones de primavera y verano. Una vendimia precoz es indicativa de primavera y verano cálidos y secos, con situaciones anticiclónicas, altas presiones y tiempo soleado. Una vendimia tardía indica primavera y verano fríos, con heladas primaverales, veranos frescos y lluviosos y situación ciclónica de bajas presiones. Valladolid está situada en la Meseta Norte castellana, por lo que la comparación debe realizarse con cautela, dadas las diferencias climáticas y geográficas. Sin embargo, una situación anticiclónica de sequía es normal que se extienda a gran parte de la Península,

incluyendo todas las localidades comprendidas en la denominada "España seca" (Font Tullot, 1988). En cuanto a las precipitaciones intensas en la Meseta, entre los principales mecanismos causantes de estas precipitaciones, y que afectan a un amplio territorio peninsular, se encuentran las situaciones ciclónicas con flujos del oeste y el suroeste, cuando un sistema de bajas presiones afecta a la Península Ibérica y gran parte del Atlántico Norte. Un ejemplo de ello es el proporcionado por las intensas lluvias del 12 al 18 de Marzo de 1969, con precipitaciones del orden de 28 mm en Valladolid y 51 mm en Badajoz, situada muy cerca de la región SW (Capel Molina, 1983a). En consecuencia, los principales máximos y mínimos de la serie de índices pluviométricos de primavera en Andalucía, deben corresponder en términos generales con los principales máximos y mínimos de la serie de fechas de la vendimia en Valladolid.

En la Figura IV.6.9.5 se representa la serie elaborada a partir de las fechas de la vendimia en Valladolid (datos de Benassar (1967), proporcionados por Le Roy Ladurie, 1983). En el eje de ordenadas el valor 0 corresponde al 31 de Agosto, el valor 1 al 1 de Septiembre, el valor 34 al 4 de Octubre, etc. Se representa también el valor medio de la serie para el periodo estudiado, 41, que corresponde al 11 de Octubre. La serie comienza el año 1540, y falta información de 23 años, 15 de ellos en el siglo XVI (1544, 1547-1550, 1559, 1563, 1569-71), y 8 en el siglo XVII (1605, 1630-32 y 1665-68). Estos huecos han sido sustituidos por el valor medio de la serie para el periodo 1540-1700, ya que las condiciones de la producción agrícola, con la posibilidad de una fuerte variabilidad inter-anual y la alinealidad de la respuesta de la planta a los fenómenos climáticos, no aconsejan una interpolación lineal para la sustitución de los huecos.

La comparación de la serie primaveral en Andalucía y la serie de fechas de la vendimia en Valladolid muestra movimientos paralelos para ambas series, es decir, tendencia descendente desde ~1550 hasta ~1620, recuperación con un máximo hacia 1630-35, un nuevo mínimo alrededor de 1650, y dos mínimos relativos hacia 1670 y 1690. Por tanto, y a falta de otros datos "proxy" específicos para Andalucía, puede considerarse la serie primaveral suficientemente validada.

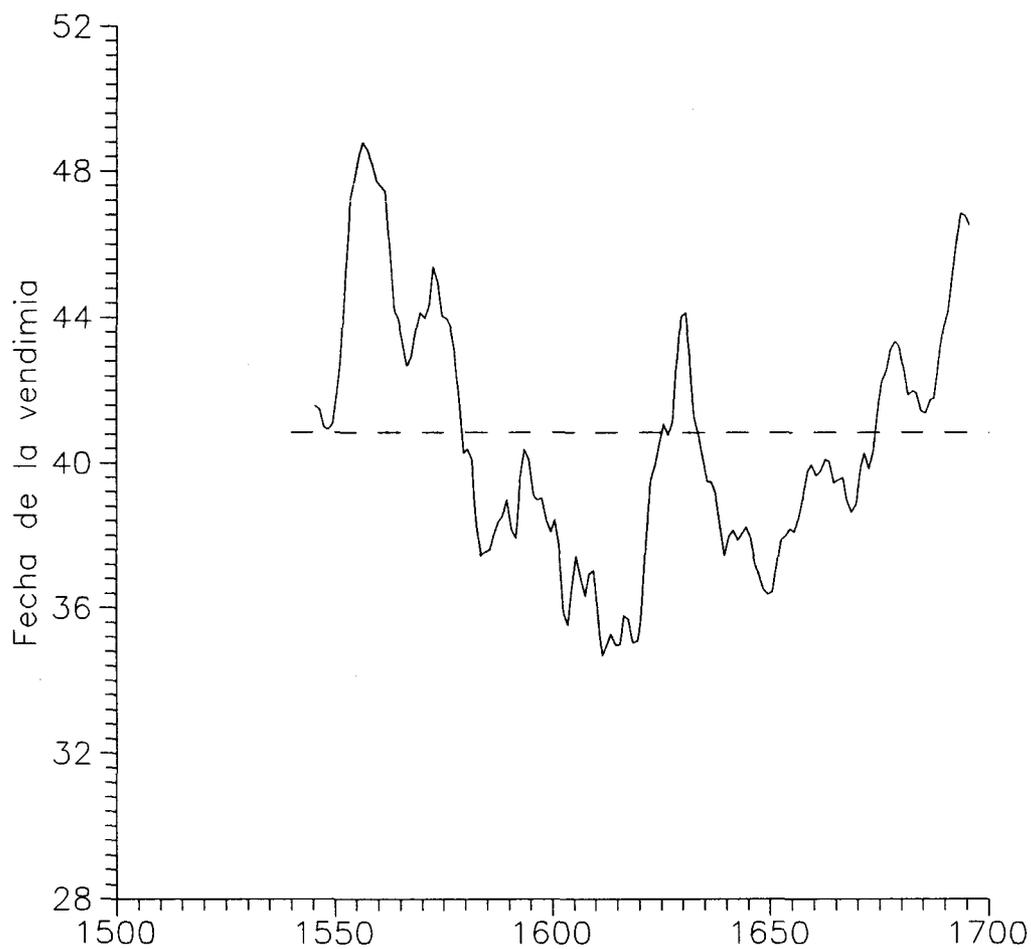


Figura IV.6.9.5.- Fechas de la vendimia en Valladolid (Cuenca del Duero), media móvil de 10 años, periodo 1540-1700 (datos de Benassar, 1967).

Al realizar el estudio de la validación de la serie anual utilizamos la serie del índice de anchura de anillos de árboles de la Sierra de Cazorla, indicando que los anillos de árboles constituyen un "proxy" para las precipitaciones desde el otoño hasta el verano. El comportamiento de la serie anual era similar al del índice de anillos de árboles. Ahora hemos comprobado cómo las precipitaciones del invierno y el otoño constituyen la principal aportación a la serie anual, mostrando ambas estaciones un comportamiento muy parecido. La comparación de las Figuras IV.6.8.1 (anillos de árboles), IV.6.9.1 (invierno) y IV.6.9.2 (otoño), muestra igualmente una evolución similar en el periodo 1500-1700, por lo que podemos considerar estas series estacionales como validadas, al menos en términos generales y de forma cualitativa.

4.7. Discusión.

El término "Pequeña Edad de Hielo" procede de la observación del avance glaciar en los Alpes (Le Roy Ladurie, 1983), y en su uso original era bastante informal, refiriéndose a lo que ahora se conoce como periodo de neoglaciación (Jones y Bradley, 1992a). Existe un considerable debate sobre el momento de aparición, el final de la Pequeña Edad de Hielo y sus características generales (Ball, 1992). Según Lamb (1977), en Europa se puede considerar que la Pequeña Edad de Hielo cubre el periodo 1550-1850, con su fase principal comprendida entre 1550 y 1700. Similar conclusión obtienen Williams y Wigley (1983) a partir del análisis de un conjunto heterogéneo de diferentes datos "proxy", destacando el declive gradual de la temperatura de verano en Europa desde el siglo XII hasta el mínimo principal de finales del siglo XVI y comienzos del XVII.

Una Pequeña Edad de Hielo asociada con las fluctuaciones glaciares es difícil de detectar. Los glaciares fluctúan en respuesta a cambios previos netos en su balance de masa y hay muchas combinaciones de condiciones climáticas que pueden corresponder a tal cambio, de forma que una mayor extensión del hielo glaciar no proporciona una imagen inequívoca del clima de la época (Pfister, 1992b). Pfister (1992 a,b) encuentra en Suiza una tendencia a un incremento de las precipitaciones a finales del XVI, con un marcado contraste entre el segundo y el último tercio de este siglo. En el periodo 1570-1600 las temperaturas medias anuales en Suiza cayeron en aproximadamente 0.6°C , con un aumento de las precipitaciones de verano de alrededor del 20%, y una variabilidad más marcada de las precipitaciones, con la aparición de severas inundaciones en el último tercio del siglo XVI. Glaser y Hagedorn (1991) encuentran para la Baja Franconia anomalías térmicas frías en invierno acompañadas por un mayor nivel de las precipitaciones para el mismo periodo. El aumento de la variabilidad y la mayor frecuencia de sucesos extremos a partir del último tercio del siglo XVI se ha encontrado también en otras zonas de Europa, como es el caso de Rusia (Borisenkov, 1992), el norte de Italia (Camuffo y Enzi, 1992) o Islandia (Ogilvie, 1992). Briffa et al. (1990), a partir del análisis de anillos de árboles en la región de Fennoscandia, limitan la Pequeña Edad de Hielo al periodo relativamente breve entre 1570 y 1650, con un periodo cálido anterior, 1540-1570, el principal periodo frío entre 1570 y 1620, y condiciones próximas a lo normal desde 1660 hasta 1750.

Según Font Tullot (1986), en la Península Ibérica, la irrupción de la Pequeña Edad de Hielo hay que situarla en el paso del siglo XV al XVI, medio siglo antes que en la Europa transpirenaica, con los siglos XVI y XVII como fase principal. El análisis de nuestros datos no coincide con esta conclusión de Font Tullot, indicando un periodo más frío y lluvioso entre mediados del siglo XVI y mediados del XVII en Andalucía. La evolución del clima no fue tan brusca, detectándose sólo oscilaciones entre fases secas y húmedas, y aparición de heladas y nevadas frecuentes principalmente en invierno. La coincidencia con los resultados del análisis de anillos de árboles de Sierra de Cazorla refuerza esta conclusión. Según Lamb (1977), la Pequeña Edad de Hielo se manifestó en la Península Ibérica mediante un aumento de la variabilidad en las precipitaciones, con alternancia de fases secas y húmedas.

Puede extraerse información sobre los factores determinantes de esta variabilidad a partir del análisis de las periodicidades más importantes encontradas en el análisis estadístico de las series temporales. Para toda Andalucía, se encontraron como periodos más destacables los de 2.1, 3.5 y 16.6 años. La región SW mostraba similares resultados, y en la región M destacaba el periodo de 3.5 años. La variabilidad en escalas temporales entre décadas y siglos es relativamente pequeña y puede ser difícil de distinguir (Kutzbach, 1986). A escalas menores de 30 años las fluctuaciones están relacionadas con la variabilidad interdecadas y con sucesos interanuales del tipo de El Niño. Con amplitudes menores de 0.5°C en un promedio hemisférico, estas anomalías son débiles comparadas con las amplitudes de las fluctuaciones a escalas temporales mayores, pero todavía pueden identificarse en los registros tanto de datos "proxy" como instrumentales (Stocker y Mysak, 1992).

Encontramos en la literatura ejemplos de periodicidades similares a las halladas a partir de nuestros datos. Así, en el análisis de las precipitaciones de Octubre en la Sierra de Cazorla, a partir del análisis de anillos de árboles, aparece un pico destacado en 15.3 años (Creus et al., 1990). Un pico de aproximadamente 17.8 años aparece en el análisis de las lluvias anuales en Massachusetts al nordeste de USA (Kane y Teixeira, 1977) y en el análisis de un conjunto de más de 1000 series de precipitación en toda USA se encuentran picos entre 16 y 22 años (Currie y O'Brien, 1992). Aparece un pico de unos 19 años en el estudio de sequías en Sudáfrica durante el periodo 1622-1900, y en Argentina de 1827 a 1900 (Lamb, 1977). Wang y Zhao (1981), en su análisis de series de sequías e inundaciones en

China durante el periodo 1470-1979 también encuentran un pico de alrededor de 18 años. Estas periodicidades también se detectan en otras variables climáticas, como en el análisis de las temperaturas de Inglaterra central, 1659-1977, con una periodicidad de aproximadamente 15 años (Manley, 1974), o en el caso de las temperaturas anuales medias en Roma, 1782-1975, con una periodicidad próxima a los 19 años (Collacino y Rovelli, 1983). Lamb (1977) también señala un periodo de unos 19 años de longitud en las temperaturas de la superficie del mar en el Atlántico Norte entre los 55 y los 67°N, y un pico de unos 15 años en las diferencias de presión atmosférica durante el mes de Enero desde 1850 entre Madeira e Islandia. Estas periodicidades se asocian con el ciclo de 18.6 años de la declinación de la luna, provocado por la inclinación de la órbita lunar respecto a la eclíptica. La fuerza de las mareas en altas latitudes es mayor cuando la declinación es máxima, y provoca desplazamientos mensurables de los anticiclones subtropicales, que afectarían al régimen de precipitaciones (Lamb, 1977).

El ciclo de 3.5 años también aparece en las inferencias para precipitaciones de Octubre a partir de anillos de árboles en la Sierra de Cazorla, con picos entre 3.25 y 3.7 años (Creus et al., 1990). Series de lluvias anuales de 9 localidades europeas situadas entre los 35 y los 60°N (Albany, Budapest, Copenhagen, Frankfurt, Greenwich, Helsinki, Malta, Milán y Roma) desde el año 1800 muestran periodicidades entre 3.5 y 4 años (Lamb, 1977). Las series pluviométricas de Gibraltar desde 1791 a 1990 también muestran un pico alrededor de 3.3 años (Wheeler y Martín-Vide, 1992). La temperatura del aire en la Península Ibérica muestra una periodicidad de 3.1 años, así como la temperatura de la superficie del mar en el Mediterráneo durante el periodo 1950-1988 (Sahsamanoglou y Makrogiannis, 1991). Las fluctuaciones globales de la temperatura de la superficie del mar desde 1856 a 1981 muestran periodicidades entre 3 y 5 años (Folland et al., 1984), y los valores anuales de la presión central en el anticiclón de las Azores muestran un periodo de aproximadamente 4 años (Sahsamanoglou, 1990). Esta variabilidad interanual puede estar relacionada con los mecanismos de acoplamiento entre la atmósfera y el océano, como atestigua el pico de 3.8 años encontrado en la frecuencia de fenómenos El Niño (Quinn et al., 1987, Quinn y Neal, 1992), y su relación con el balance energético global (Gunn, 1991).

En las escalas temporales en que trabajamos, las únicas evidencias concluyentes de

comportamientos quasiperiódicos proceden de la denominada oscilación quasibianual (Kutzbach, 1976). Según Mitchell et al (1969), la aparición de un pico ligeramente superior a los 2 años debe entenderse como una manifestación del pulso bianual. Un pico correspondiente a 2.78 años aparece en los datos de precipitaciones de Octubre de Sierra de Cazorla, a partir del análisis de anillos de árboles (Creus et al., 1990). Periodicidades entre 2.2 y 2.8 años aparecen en las series pluviométricas de Gibraltar, 1791-1990 (Wheeler y Martín-Vide, 1992), en la serie de lluvias anuales de Massachussets, en el nordeste de USA (Kane y Teixeira, 1991), o en las series de lluvias anuales en varias localidades europeas (Edimburgo, Londres, Milán y Padua) entre los 35 y los 60°N desde el 1800 (Lamb, 1977). Ciclos entre 2.2 y 2.5 años aparecen en la serie de temperaturas anuales medias de Roma, 1782-1975 (Collacino y Rovelli, 1983), y en las temperaturas de la Península Ibérica y la superficie del mar en el Mediterráneo, 1950-1988 (Sahsamanoglou y Makrogiannis, 1991). Según Lamb (1977), esta pulsación bianual puede también encontrarse en datos sobre la frecuencia de la circulación meridional sobre Europa, 1881-1964, y en datos sobre el índice zonal desde 1943 a una altura de 500 mb entre 35 y 55°N. La pulsación quasi-bianual implica una inversión de los vientos en la estratosfera tropical y algún grado de variación climática general sobre grandes regiones de la Tierra. El mecanismo de excitación es desconocido, pero la idea predominante es que se trata de una fuerza estocástica interna al sistema climático (Mitchell, 1976).

Estas periodicidades se han encontrado como desviaciones respecto al ruido blanco que caracterizaba los periodogramas de las series estudiadas. Según Kutzbach (1976), estas desviaciones pueden reflejar la inercia térmica del océano y la atmósfera, en la medida en que el estado térmico de la atmósfera depende de transiciones termodinámicas con la superficie oceánica. Puede producirse una transferencia de calor entre la superficie del océano y las capas más profundas, la cual, a su vez, puede afectar a la disponibilidad de calor desde la superficie del mar hacia la atmósfera, en escalas de tiempo características de la circulación en la capa de mezcla del océano, entre 1 y 10 años (Mitchell, 1976). Estos intercambios afectarán a las masas de aire y sistemas depresionarios y anticiclónicos responsables de las precipitaciones o de su bloqueo en Andalucía.

Con el objeto de estudiar los factores causantes de los procesos de cambio climático

en la época y responsables de la aparición de esta variabilidad, es preciso estudiar los tipos de tiempo responsables de las principales anomalías detectadas. El análisis será posible a partir de establecer analogías entre los fenómenos del pasado y sucesos extremos del presente. El uso de las precipitaciones totales anuales resulta útil como indicador de las condiciones generales y en el proceso de búsqueda, detección y caracterización de los cambios climáticos. La interpretación física de estos cambios, en base a tipos de tiempo y circulaciones dominantes, sólo es posible a partir del análisis de la distribución estacional de las principales anomalías, estudio que se afronta en el siguiente capítulo.



CAPITULO V

FENOMENOS EXTREMOS Y CAMBIO CLIMATICO



5.1. Introducción.

Las variaciones en frecuencia e intensidad de condiciones estacionales extremas y sucesos meteorológicos individuales son la principal manifestación de los cambios en el clima promedio (Ingram et al., 1981b). Fluctuaciones de pequeña magnitud a largo plazo en los valores medios de las variables climáticas están asociadas a cambios en la frecuencia de los fenómenos extremos (Flohn, 1981). Los impactos climatológicos, por otra parte, vienen más de los sucesos extremos que de las lentas fluctuaciones en el valor medio de alguna variable climatológica (Wigley, 1985; Katz y Brown, 1992).

Podemos definir los sucesos meteorológicos extremos como los valores inusuales de ciertos elementos climatológicos para los cuales no existen medios adecuados de defensa, y que, por tanto, ejercen un indudable impacto en la vida socio-económica (Faragó y Katz, 1990). Entre estos podemos destacar las galernas, huracanes, ciclones y fuertes ráfagas, que provocan naufragios en mares peligrosos o inundaciones de áreas costeras, lluvias intensas causantes de inundaciones, nevadas y ventiscas, severas tormentas, olas de frío y calor y sequías con efectos en la agricultura (Mckay, 1990).

Según Lamb (1981), el aspecto más destacable del comportamiento del clima durante la Pequeña Edad de Hielo es la alternancia de condiciones estacionales extremas, de ahí el interés de estudiar los fenómenos extremos o anomalías detectados en la época de estudio. La ventaja de este análisis, por otra parte, es que restringe el rango de observaciones en consideración y limita los cambios en los distintos factores implicados (Tabony, 1983).

Hay dos aproximaciones principales para la estimación de los sucesos extremos (Tabony, 1983): el análisis de la cola de la distribución original, y el análisis directo de los extremos individuales.

Bajo un clima estable, podemos establecer un cierto valor crítico X_c para una variable climática, y considerar como suceso extremo todo aquel valor de la variable X tal que $|X| > X_c$. La probabilidad de que se produzca tal suceso vendrá dada por el área bajo la cola de la distribución donde $|X| > X_c$. Si se produce un cambio en el valor medio de la

distribución, este área crecerá de forma no lineal, de modo que ligeros cambios en el valor medio pueden producir cambios relativamente grandes en la probabilidad de ciertos sucesos (Wigley, 1985). Los sucesos extremos son relativamente más sensibles a la variabilidad del clima que a su promedio, y esta sensibilidad es relativamente mayor cuanto más extremo es el suceso. Cambios en el valor medio y en la varianza de la distribución, por tanto, pueden provocar sustanciales cambios en la probabilidad de sucesos extremos (Katz y Brown, 1992).

La probabilidad de que se produzca el suceso extremo puede ajustarse asintóticamente a algún tipo de distribución modelo, como la distribución de Gumbel o las de Fisher-Tybet, pero esto sólo es posible cuando el conjunto de observaciones proceden de la misma población y están idénticamente distribuidas. En caso contrario, el uso de una distribución matemática para el ajuste exacto de las distribuciones originales resulta desafortunado. Además, la dependencia de una serie de observaciones de diversos factores proporciona una buena razón para realizar un análisis directo de los extremos individuales en lugar de analizar la cola de la distribución (Tabony, 1983).

Nuestros datos pueden considerarse como un conjunto de fenómenos extremos, según analizamos en el capítulo anterior. Los extremos o anomalías de carácter térmico son un conjunto insuficiente como para abordar un estudio estadístico, y la distribución de valores del índice pluviométrico es no-normal, lo cual complica el análisis de los valores extremos desde un punto de vista estadístico. En consecuencia, parece más aconsejable abordar el estudio mediante el análisis individual de los extremos o anomalías más características detectadas.

Por otra parte, la duración típica de los sucesos extremos está comprendida entre unas cuantas horas (caso de intensas ráfagas de viento o granizadas) hasta una estación entera (como en el caso de sequías). La mayoría de las variables meteorológicas sufren una pronunciada variación estacional, por lo que el estudio de extremos anuales puede no satisfacer las condiciones de la teoría de valores extremos (Tabony, 1983). Se hace necesario abordar el problema desde un punto de vista estacional.

El carácter de una estación puede definirse por medio de alguna anomalía de la

corriente principal de circulación zonal, la cual guía las secuencias de borrascas y anticiclones superficiales e incluso controla los lugares donde se desarrollan. La anomalía puede ser consecuencia de la intensidad y latitud del flujo predominante superior, así como de las características del vórtice circumpolar. Los mapas de circulación diaria pueden, por tanto, revelar los procesos climáticos que afectan a la aparición y desarrollo de los extremos meteorológicos. Para el estudio de los mecanismos de las variaciones climáticas los mapas sinópticos, en consecuencia, constituyen una buena ayuda para el análisis (Lamb, 1977).

En este capítulo afrontamos un estudio comparativo entre los extremos del pasado y los del siglo XX, analizando los tipos de tiempo responsables de los mismos. El análisis en superficie se muestra en la sección 5.2 y la vinculación de los tipos de tiempo con la situación en altura y los desplazamientos de la corriente en chorro se realiza en la sección 5.3. La caracterización dinámica de los principales extremos detectados permite inferir los principales mecanismos responsables del comportamiento climático en Andalucía durante el periodo de estudio. Finalmente, la sección 5.4 estudia y discute los diferentes mecanismos propuestos en la bibliografía como responsables de los cambios climáticos, y enlaza esta discusión con los resultados obtenidos en el capítulo anterior sobre la evolución de las precipitaciones en la época de estudio.

5.2. Anomalías y tipos de tiempo.

5.2.1. Introducción.

Existe una íntima relación entre fluctuaciones climáticas y modificaciones de la circulación general de la atmósfera. Para conocer la naturaleza de los cambios climáticos del pasado es necesario investigar cuáles fueron las características más sobresalientes de las condiciones medias de la circulación atmosférica (Font Tullot, 1986). Dedicamos esta sección al análisis meteorológico de superficie de algunas de las anomalías detectadas.

La hipótesis básica de este análisis es que, en general, los tipos de tiempo que predominaron en la época de estudio son los mismos que pueden observarse hoy día en los mapas sinópticos. A partir de las informaciones existentes sobre las condiciones en superficie es posible inferir los tipos de tiempo causantes de las mismas. La información estacional proporciona una clave más para la interpretación, a partir de la abundante bibliografía existente sobre la distribución estacional de los principales tipos de tiempo que afectan a Andalucía. El objetivo es elaborar un catálogo de ejemplos paleoclimáticos con el objeto de profundizar desde un punto de vista dinámico en el conocimiento meteorológico del pasado.

El análisis no es exhaustivo, dada la ausencia de un excesivo detalle en la descripción de muchos de los fenómenos recogidos en las fuentes. Se centra, pues, en los fenómenos de indudable impacto de los que hay suficiente y detallada información en las fuentes documentales. Esto tiene como principal consecuencia que los tipos de tiempo inferidos no pueden considerarse como los "predominantes" en la época de estudio. Sin embargo, en la medida en que estén relacionados con los principales máximos y mínimos de las series (tanto la anual como las estacionales en el caso de las precipitaciones) sí podemos inferir cuáles fueron los principales mecanismos que dieron lugar a los fenómenos extremos de mayor impacto en la época.

Otro de los problemas a considerar es el hecho de que distintos tipos de tiempo pueden dar lugar a observaciones similares en superficie, lo cual lleva a considerar con cautela las inferencias realizadas. No obstante, este problema está solventado, al menos

parcialmente, mediante la comparación realizada con las noticias encontradas en la bibliografía referentes a otras zonas de la Península y de Europa. Por otra parte, el hecho de analizar fenómenos extremos datados con precisión, limita el número posible de situaciones sinópticas responsables y reduce la incertidumbre en este punto.

El método analógico que hemos seguido consiste en primer lugar en caracterizar el fenómeno extremo tanto por sus características de superficie como por los principales tipos de tiempo responsables del mismo. En segundo lugar, este análisis se ilustra con ejemplos contemporáneos de los que poseemos detallada información meteorológica, a través de los Boletines Meteorológicos Diarios publicados por el Instituto Nacional de Meteorología, así como información en prensa respecto al impacto de los mismos. Finalmente, se buscan situaciones históricas análogas que, por las observaciones cualitativas de superficie, la estación del año en que se produjeron y la comparación con las noticias procedentes de otras zonas, puede inferirse que responden a mecanismos similares a los modernos.

Los casos que se han analizado corresponden a los fenómenos extremos de mayor impacto en la época, es decir, olas de frío causantes de heladas y nevadas en la región, anomalías pluviométricas como sequías y lluvias causantes en muchos casos de inundaciones, y vientos intensos responsables de destrozos en tierra y relacionados con tormentas en el mar.

Dado que la persistencia de los tipos de tiempo es del orden de unos pocos días (Castillo-Requena, 1989), las inferencias realizadas deben entenderse como "meteorológicas" antes que como "climáticas". Es su relación con las principales tendencias y valores extremos en nuestras series quien les confiere un significado climático. El análisis de la situaciones en altura, que no puede ignorarse a la hora de realizar un estudio dinámico, se pospone para la siguiente sección.

5.2.2. Anomalías térmicas.

En el capítulo anterior vimos que las principales anomalías térmicas recogidas en las fuentes eran de signo negativo y correspondían al invierno, y en menor medida a la primavera, y estaban relacionadas con la aparición de heladas y nevadas sobre Andalucía. Por tanto, para inferir los posibles tipos de tiempo relacionados con estas noticias, debemos analizar los principales mecanismos causantes de estos fenómenos sobre la región.

Para que se produzca el fenómeno conocido como helada es necesario que la superficie de las plantas adquiera una temperatura $T \leq 0^{\circ}\text{C}$. El criterio de Embeeger establece que el riesgo de heladas es prácticamente nulo si la temperatura media de las mínimas es $\geq 7^{\circ}\text{C}$. Atendiendo al mecanismo causante de las heladas, podemos distinguir tres tipos principales (García Pedraza et al., 1990):

a) Heladas de irradiación. Se producen en noches largas con viento en calma y cielos despejados. El suelo se enfría por irradiación hacia el aire y se crea una capa de aire frío junto al suelo. No se producen en presencia de nubes.

b) Heladas de evaporación. Suelen darse con mayor frecuencia en primavera, en presencia de aire algo húmedo. El vapor de agua sublima directamente en forma de escarcha sobre los tallos y hojas de las plantas ("helada blanca"). Al salir el sol, que en general y dada la época del año calienta con fuerza, se provoca una rápida evaporación de estas escarchas. El calor de evaporación procede de aquéllas partes más sensibles de la planta, como brotes de plantas y capullos florales tiernos, con el consiguiente perjuicio.

c) Heladas de advección. Masas de aire de origen siberiano que en raras ocasiones llegan a la Península, acompañadas de vientos del nordeste, nubes e incluso nevadas, tienen efectos catastróficos sobre la agricultura, pues a las bajas temperaturas del aire se superpone el efecto del viento, que llega muy frío y seco, destruyendo brotes y ramas, que toman un aspecto negro ("helada negra").

La mayor parte de las plantas puede soportar una helada siempre que dure poco tiempo y sea de escasa intensidad. Durante el reposo vegetativo invernal, los daños que pueden producir las heladas son los menos perjudiciales, a no ser que la helada resulte

especialmente intensa y la planta sea especialmente sensible (Domínguez Bascón, 1986). En la Península Ibérica, las causas fundamentales de los fríos intensos o anormales están relacionadas con las heladas de advección y de irradiación. Las primeras pueden deberse o bien a invasiones de aire polar continental o ártico, con vientos del primer cuadrante, o bien a invasiones de aire polar marítimo con vientos del segundo cuadrante, siendo estas últimas las menos frecuentes. Las heladas de irradiación se producen bajo condiciones anticiclónicas o débil gradiente bórico, son las más frecuentes y de un marcado carácter local (Capel Molina, 1983b). Únicamente en el primer caso, heladas de advección, las temperaturas pueden descender por debajo de los 0°C en Andalucía y considerarse realmente catastróficas (Capel Molina, 1975).

El invierno se muestra como la estación del año en la que se concentra la práctica totalidad de las heladas de carácter intenso a lo largo del año, con temperaturas entre -2 y -5°C, mientras que las heladas de primavera, con mínimas entre 0 y -2°C, presentan una frecuencia sensiblemente más elevada que durante el otoño (Domínguez Bascón, 1986). En la Cuenca del Guadalquivir, las heladas van asociadas a la presencia de anticiclones fríos continentales, centrados en el interior de España (heladas de irradiación) o sobre Europa Central, con extensión hacia la Península Ibérica e irrupciones meridianas de aire ártico o polar (heladas de advección). En cualquier caso, la masa de aire es fría y seca (Capel Molina, 1977).

Podemos encontrar varios ejemplos de heladas en el siglo XX. Las heladas de irradiación se presentan todos los años, dada la especial configuración de la Península Ibérica y el carácter de marcada continentalidad que presenta. Así ocurrió por ejemplo, los días 6 y 7 de Enero de 1968, donde se produjeron heladas nocturnas por irradiación con mínimas de -1°C en Córdoba y -0.6°C en Sevilla (Capel Molina, 1975). Otra helada de estas características se produjo en Enero de 1983 (Capel Molina, 1983b). La semana del 4 al 10 de Enero de 1993 fue una de las más frías del invierno 92-93 en Granada, con una media semanal de 3.6°C, y mínimas de -7°C el viernes 8, o -6°C el sábado 9. Este día también se registraron heladas en Sevilla (-1°C), en Córdoba (-3°C) y en Jerez de la Frontera (0°C). Las heladas, con mínimas de hasta -2°C en zonas umbrías se sintieron también en localidades de la costa, donde produjeron pérdidas en los cultivos subtropicales de la comarca de

Almuñecar (IDEAL, 21.01.1993). En la Figura V.2.2.1 se muestra el mapa sinóptico de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. del 8 de Enero de 1993, donde se aprecia la situación anticiclónica dominante durante estas fechas en la Península Ibérica.

Entre las olas de frío por advección de aire polar marítimo podemos citar los ejemplos de Febrero de 1983 y Febrero de 1993. En ambas situaciones apareció un potente anticiclón atlántico y una zona de bajas presiones situada sobre Europa Occidental, presentando un mínimo principal sobre Dinamarca y el Sur de la Península Escandinava, así como un mínimo secundario sobre Francia o el Golfo de León. En el año 1983 se registraron temperaturas de -7°C en Granada y -2°C en Málaga el 10 de Febrero, produciéndose nevadas en Andalucía hasta el día 15 del mismo mes. La recuperación térmica se conseguiría a partir del 17 de Febrero, (temperatura mínima de 4°C en Granada) con la aparición de una perturbación cálida al norte de Canarias, que daría paso a la irrupción de vientos del oeste y el sudoeste sobre la Península. Las nevadas del 27 de Febrero de 1993, acompañadas de fuertes vientos de componente norte y un acusado descenso de las temperaturas (-2°C de mínima en Granada), afectaron principalmente a Cantabria, Asturias, Castilla y León, Aragón y Andalucía (Jaén y Granada). En la Figura V.2.2.2 se muestra el mapa de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. del 27 de Febrero de 1993, donde se aprecia el anticiclón centrado al W de las Islas Británicas, la depresión centrada sobre la Península Escandinava, y cómo la Península Ibérica se ve afectada en sentido meridional por el flanco oriental del anticiclón.

Las heladas por advección de aire polar continental se producen a consecuencia de la intensificación de un anticiclón nórdico, situado en el área de la Península Escandinava o al oeste de la misma, y la profundización de una zona de bajas presiones en el Mediterráneo Occidental. Entre ambos centros de acción se canaliza un flujo de aire polar continental del NE que alcanza la Península Ibérica. Esta situación se produjo en la primera semana de Febrero de 1956, cuando las heladas causaron estragos en la agricultura valenciana, con mínimas en el Golfo de Valencia entre -2.5°C y -5°C (López Gómez, 1956); o en el invierno 1970/71, desde el 21 de Diciembre al 3 de Enero, con temperaturas en la hoya de Guadix-Baza comprendidas entre -18 y -10°C (Capel Molina, 1972). En esta última situación

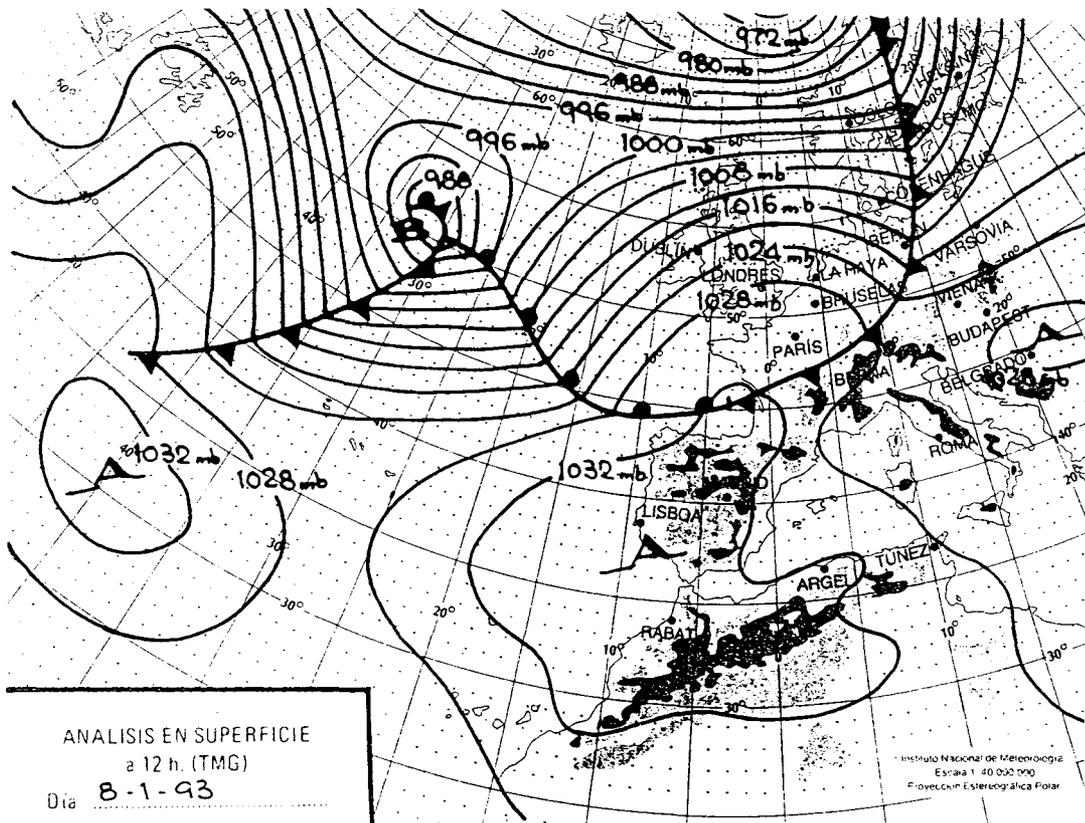


Figura V.2.2.1.- Mapa de superficie del 8 de Enero de 1993, a las 12 h. T.M.G. Situación característica de las heladas de irradiación (Boletín Meteorológico Diario, 09.01.1993, INM).

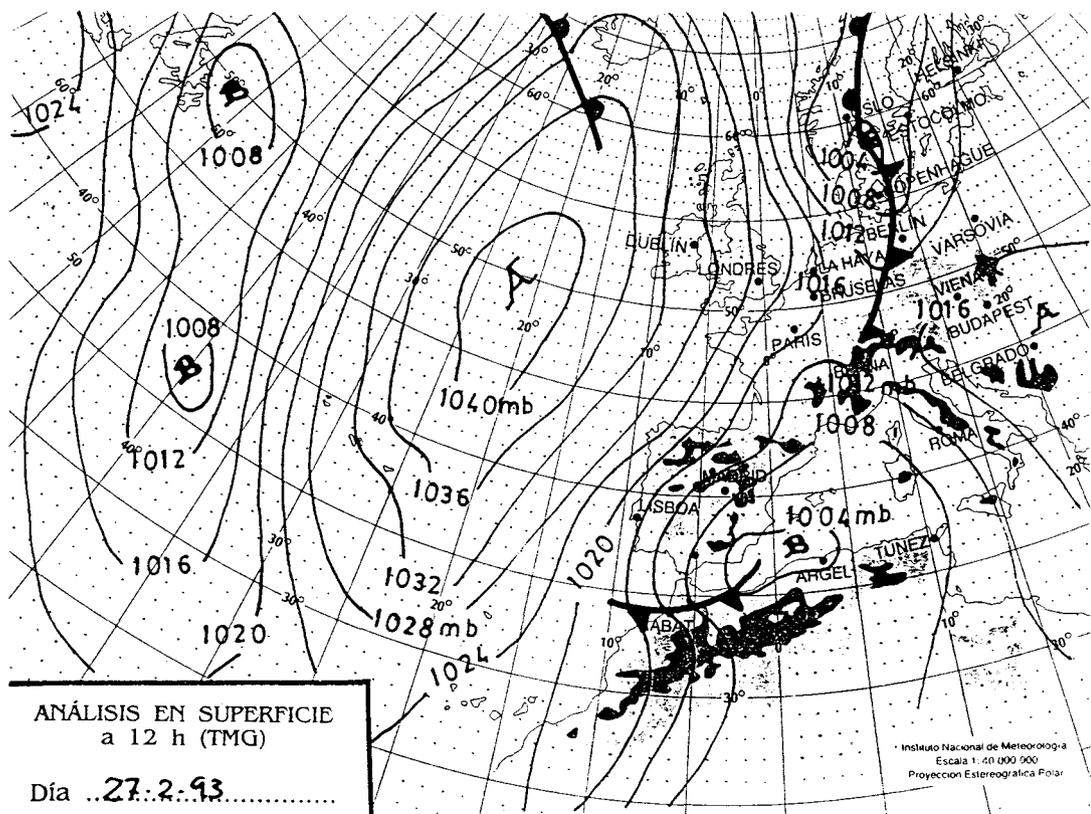


Figura V.2.2.2.- Mapa de superficie del 27 de Febrero de 1993, a las 12 h. T.M.G. Situación característica de las invasiones de aire polar marítimo del NW (Boletín Meteorológico Diario, 28.02.1993, INM).

un anticiclón de 1036 mb, situado entre Islandia e Irlanda, al noroeste de Escocia, emitía vientos del norte en su cara este, que al llegar a la Península eran del NE, formalizando una corriente de aire polar continental muy fría, favorecido este ataque frío por la presencia de una fuerte depresión sobre Italia. El acusado gradiente entre ambos centros de acción aumentó la potencia de la invasión fría. El Sur de España constituyó el frente de batalla entre la corriente fría polar del NE y la corriente cálida subtropical, originándose sobre Andalucía un régimen de lluvias y nevadas muy generalizadas. El 25 de Diciembre se registraron -8.6°C en Granada, y el 29 las precipitaciones en forma de nieve fueron de 13 l/m^2 . Esta ola de frío también se dejó sentir en la vertiente mediterránea, especialmente en Murcia, Valencia, Castellón y Cataluña, con precipitaciones de hasta 33 l/m^2 en Ibiza el día 23. La ola de frío comenzó a remitir como consecuencia de la entrada de una borrasca cálida por el suroeste de la Península, que se manifestó en forma de precipitaciones líquidas en Andalucía. La Figura V.2.2.3 muestra el mapa de superficie correspondiente a las 0 h. (T.M.G.) del 9 de Febrero de 1956, donde se aprecia el anticiclón centrado en Dinamarca y la Península Escandinava y una borrasca situada sobre el Golfo de León.

Situaciones análogas a las descritas pueden encontrarse en el periodo histórico. A título de ejemplo, podemos analizar las noticias encontradas relativas a los inviernos de 1511, 1573, 1622, y 1658.

El invierno de 1511 se caracterizó por la aparición de nevadas en Andalucía así como en la Meseta (C-2). En Enero se registraron también nevadas en el valle del río Tanaro en Italia (Pavese et al., 1992), en Europa Occidental este invierno ha sido caracterizado como severo, y como frío en Inglaterra (Lamb, 1977). Posiblemente estas noticias hagan referencia a una ola de frío por advección, aunque no parece posible distinguir a partir de las informaciones de las que disponemos si se trata de una advección del NW o del NE.

No ocurre lo mismo con el invierno de 1573, donde la información es más detallada y extensa. El 29 de Diciembre se registraron nevadas en Córdoba y en la vertiente mediterránea (Levante, Baleares, Alicante). El río Ebro se heló en Tortosa, prolongándose el frío durante varios días, desde el 20 de Diciembre hasta principios de Enero. Esto supone unas mínimas entre -10° y -15°C , y el mantenimiento de las temperaturas por debajo o muy

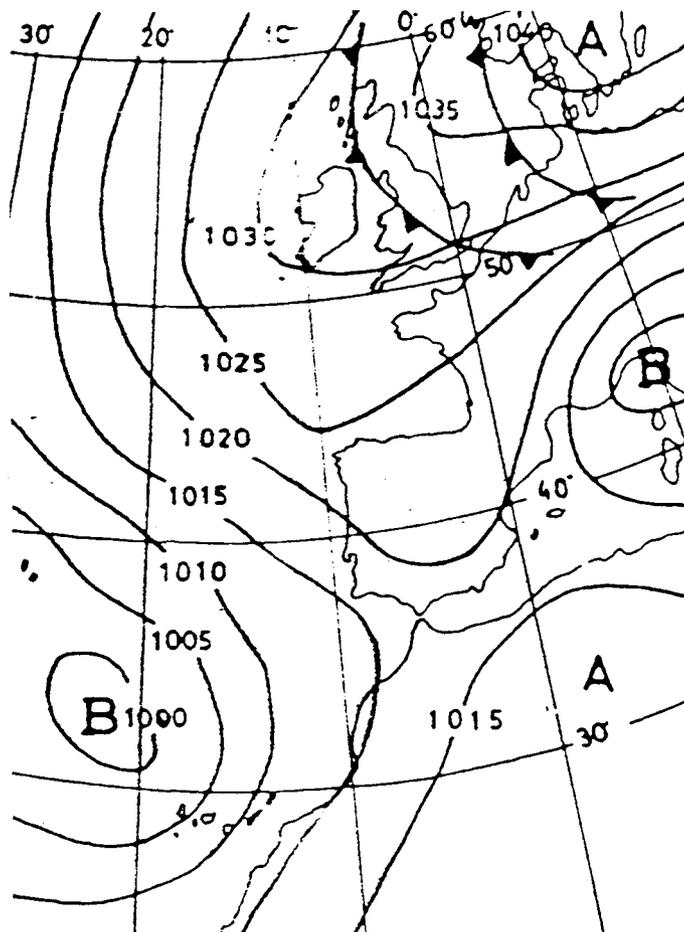


Figura V.2.2.3.- Mapa de superficie del 9 de Febrero de 1956, a las 0h. T.M.G. Situación característica de las invasiones de aire polar continental del NE (Capel Molina, 1983).

cerca de los 0°C durante varios días (C-2). También fue un invierno severo en el norte de Italia, con heladas e incluso muerte de ganado por el frío (Camuffo y Enzi, 1992). El 31 de Diciembre se produjo una inundación del Tíber en Roma y los primeros meses del año fueron fríos en el Valle Tanaro en Italia (Pavese et al., 1992). El índice térmico de Pfister (1981) para Suiza, -9, también indica unas condiciones térmicas muy frías en este país. En Europa Occidental, Lamb (1977) clasifica este invierno como severo, y señala la congelación del río Bodense, situado en los 47°N y entre 8 y 9°E. La situación es descrita por Rodrigo Caro (HC-2) cuando relata los sucesos de la guerra de Flandes, en los que estaban implicados algunos notables de Utrera, y relata cómo un ejército con 6000 caballos, 500 carros y 19 cañones pasó por encima de un río y un mar helados en Harlem (Holanda). Las condiciones frías o muy frías fueron, pues, generalizadas para toda Europa. La inundación de Roma por el río Tíber es un indicio de fuertes e intensas lluvias, posiblemente relacionadas con una profunda borrasca centrada sobre Italia. Todo ello da pie a pensar que este invierno responde al esquema de las invasiones de aire polar continental.

El invierno de 1622 se registró una nevada en Sevilla el 3 de Enero, durando la nieve sobre la ciudad un par de días (AU-2). En Diciembre se habían registrado nevadas en Cataluña (C-2), que Font Tullot atribuye a una ola de frío del NE. El invierno fue también severo en el valle Tanaro, Italia, con noticias de nevadas el 2 de Enero (Pavese et al., 1992), así como en Europa Occidental (Lamb, 1977). Fue también un invierno frío en Suiza, con un valor del índice térmico de -1 (Pfister, 1981).

El invierno de 1658 se caracterizó por la aparición de intensas heladas en Sevilla, que llegaron a producir la muerte de ganado (AU-3), así como en la Meseta (C-2). Fue un invierno frío en Inglaterra (Lamb, 1977), aunque este carácter frío no parece que afectara a toda Europa, como indica la ausencia de noticias correspondientes a este invierno en Italia, o el caso de Suiza, donde Pfister (1981) da como índice térmico +2. Parece responder, por tanto, a una situación anticiclónica centrada sobre la Península, con la aparición de heladas de irradiación.

Las noticias de nevadas en Andalucía están en la mayoría de los casos relacionadas con advecciones de aire polar continental o marítimo, y son más significativas cuando se

refieren a lugares en el Valle del Guadalquivir (región R-1), ya que el factor altitud hace que en las regiones R-3 y R-4 las nevadas no sean tan infrecuentes, sobre todo en las cumbres montañosas. Cuando estas noticias de nevadas coinciden con informaciones similares de la vertiente mediterránea, como es el caso de 1573, podemos suponer advecciones de aire polar del NE (Font Tullot, 1988). Como inviernos de estas características tenemos 1568, 1573, 1589, 1590, 1600, 1610, 1622, 1625 y 1694.

En los años en los que no encontramos noticias en otras regiones, las condiciones frías en Andalucía posiblemente estuvieron relacionadas con una situación anticiclónica centrada sobre la Península, que dio lugar a heladas de irradiación. Esta situación puede encontrarse, por ejemplo, en los años 1605, 1617 y 1669, cuyos inviernos tienen índice pluviométrico negativo (-1, -1 y -0.3, respectivamente). En condiciones similares tendríamos los inviernos de 1527, 1540, 1556, 1572, 1604 y 1636. Estas situaciones pueden comprender también aquéllas en las que las noticias de heladas y/o nevadas comprenden exclusivamente a Andalucía y la Meseta, como ocurrió el invierno de 1658. En estas condiciones tenemos los inviernos de 1505, 1606, 1616, 1644, 1657 y 1659.

No es posible inferir a partir de las informaciones de que disponemos los tipos de tiempo "predominantes" en la época, dada la fragmentación de las noticias de carácter térmico. Sin embargo, el estudio de las principales anomalías detectadas nos permite deducir los mecanismos responsables de algunos de los extremos de mayor impacto en la época. Situaciones anticiclónicas en la Península y advecciones de aire polar continental o marítimo figuran como las situaciones responsables de las heladas y nevadas detectadas en Andalucía.

5.2.3. Anomalías pluviométricas.

5.2.3.1. Sequías.

La sequía es, por definición, un periodo sostenido de déficit de agua en un área particular, que dura unos cuantos meses o incluso años. Las condiciones dentro de una sequía pueden variar considerablemente en el espacio y en el tiempo, de acuerdo con la irregularidad espacio-temporal de la distribución de lluvias, con la heterogeneidad de la respuesta hidrológica de las cuencas fluviales afectadas, y con la respuesta de la vegetación

natural y agrícola. La lluvia es el principal factor que afecta a la disponibilidad del agua para muchos sistemas debido a su gran variabilidad espacio-temporal. Las sequías están relacionadas tanto con la cantidad como con la duración de las precipitaciones, así como con su distribución estacional. Hay muchas definiciones del término "sequía" según las variables utilizadas. Entre ellas podemos distinguir (Ogallo y Gbeckor-Kove, 1990):

a) Sequía meteorológica. Definición basada solamente en las precipitaciones, se refiere a periodos cortos, cuando las precipitaciones recibidas están por debajo de lo normal.

b) Sequía agrícola. Se relaciona con las condiciones de la vegetación natural, cosechas y pastos. Se define midiendo la disponibilidad del agua del suelo para plantas y animales. Factores como radiación, acción de vientos desecadores y evaporación se vuelven importantes.

c) Sequía atmosférica. Se usa para indicar una sequedad anormal del aire en el cual el déficit de saturación se vuelve importante.

d) Sequía hidrológica. Déficit en la escurriencia de ríos y otras fuentes de agua superficial, así como en las reservas de aguas subterráneas.

Las noticias de sequía hidrológica, a las que se ha asignado un valor del índice de -2, se refieren principalmente a la respuesta de las cuencas fluviales afectadas, lo cual supone un periodo de tiempo entre 9 meses y 1 ó 2 años. El carácter en muchos casos anual de las noticias encontradas, o la sucesión de estaciones con valores negativos del índice, permite recoger esta clase de noticias. Por el contrario, las noticias atribuibles a una sequía atmosférica, que competen al concepto de humedad relativa, son difícilmente identificables en las fuentes. Por otra parte, las noticias de sequía agrícola pueden identificarse con las de sequía meteorológica, dado que el déficit de precipitaciones en otoño y/o primavera tenía un efecto inmediato en la marcha de la frágil agricultura de la época en estudio (García de Pedraza et al., 1990), como ya vimos en el Capítulo III de esta Memoria. A estas noticias se les ha asignado un valor del índice -1, y, dada la inmediatez del impacto de la falta de lluvias en la agricultura de la época, son las predominantes en el registro obtenido.

Durante una sequía las circulaciones inhibitoras de precipitaciones persisten más tiempo que durante periodos de no-sequía. Es el carácter persistente o frecuentemente

recurrente de estas circulaciones el que es único en los periodos de sequía. Aparte de esta persistencia, los patrones de circulación diaria durante una sequía no son diferentes de los tipos de patrón diario que ocurren durante periodos de no-sequía. Los periodos recurrentes de precipitaciones menores de lo normal se describen como anomalías climáticas, no como anomalías meteorológicas (McNab, 1989).

Días con poca o ninguna precipitación pueden relacionarse con la ausencia de fuentes de humedad (advección de aire seco), ausencia de temperaturas inestables o gradientes de velocidad o amplios movimientos de descenso vertical (subsistencia). Un flujo anticiclónico alrededor de áreas extensas de altas presiones suele estar asociado con aire seco descendente que suprime la formación de nubes y la precipitación. Los tipos de tiempo responsables de bajas precipitaciones en Andalucía son de carácter anticiclónico (Capel Molina, 1977), y pueden caracterizarse como anticiclones de bloqueo o anticiclones cálidos a todos los niveles de la atmósfera, que se mantienen fijos y persistentes, bloqueando y desviando el avance de las borrascas que aportan nubes y lluvia (García de Pedraza y García Vega, 1989). Atendiendo a su distribución espacial podemos distinguir dos tipos principales (García de Pedraza et al., 1990): anticiclones subtropicales de eje horizontal, con circulación zonal en sus bordes norte y sur (desvío de las borrascas atlánticas por encima de los 45°N, es decir, hacia Inglaterra, Europa Central y Escandinavia, y al sur de los 35°N, Canarias, Marruecos y Argel); y anticiclones de bloqueo con eje vertical y circulación en el sentido meridiano por ambos flancos. Estos últimos, flujo anticiclónico del N, NW o NE, están asociados a las olas de frío ya vistas en la sección anterior.

Como ejemplos actuales de situaciones de sequía podemos destacar las sequías de los años 1988-1989 y 1991-1993. La primera ha sido ya estudiada por Font Tullot (1989), quien señala como periodo de sequía el cuatrimestre dese Noviembre de 1988 a Febrero de 1989, fundamentalmente en la mitad norte de la vertiente atlántica y en la Depresión del Guadalquivir, destacando la pluviosidad relativamente importante, aunque irregular, de la parte de levante y el sudeste. Según este autor, esta larga persistencia de situaciones anticiclónicas sobre la Península Ibérica no tiene precedentes en el siglo XX. La explicación de esta sequía la encuentra este autor a través del análisis de los mapas mensuales de distribución media de la presión atmosférica al nivel del mar, en los que puede apreciarse

el intenso desarrollo de las altas presiones subtropicales (incluido el anticiclón "ibérico") y el notable debilitamiento del anticiclón asiático respecto a sus condiciones normales. En la Figura V.2.3.1.1 se muestra un ejemplo de esta situación típica, correspondiente a las 12 h. T.M.G. del 28 de Noviembre de 1988. Esta situación se reproduciría durante el bienio 1991-1993, afectando al suministro de agua potable en varias ciudades andaluzas y a la producción agrícola. En la Figura V.2.3.1.2 se muestra a título de ejemplo la situación de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. del 11 de Marzo de 1992.

Situaciones de sequía de interés en el periodo histórico son las correspondientes a los años 1506, 1520-22, 1539-43, 1604-05, 1640-41 y la década de 1680, que pasamos a analizar a continuación. En todas estas situaciones se produjo una coincidencia entre las características de la región M y la SW, destacando los periodos 1539-43 y 1680-83 como los principales mínimos de la serie anual. El resto de los casos suponen mínimos relativos de las series estacionales y de la serie anual.

Para el año 1506 las condiciones de sequía comenzaron en el mes de Febrero y se prolongaron durante la primavera, con pérdidas en las cosechas y en el ganado por falta de pastos (C-1). El hambre y la carestía se dejaron sentir en Sevilla (AU-3), Loja (A-1), y en general en toda la Península (HG-2). La situación anticiclónica estuvo acompañada de heladas en los ríos Ebro y Tormes durante el mes de Enero (C-2). Esto, unido a las noticias sobre heladas del río Támesis a su paso por Londres (Lamb, 1977), así como a las referencias a la importación de trigo siciliano (HG-2), que denotan ausencia de sequías en Italia, posibilita la inferencia de un anticiclón del NE ejerciendo su acción sobre la Península. Nos encontramos además en un periodo (1500-1511) de fríos intensos y sequía en el interior de la Península, litoral mediterráneo y Baleares (C-2).

El bienio 1520-21 se caracterizó también por las condiciones de sequía en Andalucía, pero a diferencia del año 1506, no hay referencias a fríos intensos en la Península durante estos años (C-2). La sequía comenzó a sentirse en Sevilla en el otoño de 1520 (AU-3), continuó durante el invierno siguiente (A-2), y se prolongó hasta la primavera de 1521 (HC-2, HR-1), con rogativas pidiendo la lluvia en el mes de Mayo en Sevilla (AU-3), y el resultado de una mala cosecha y carestía en Loja (A-1).

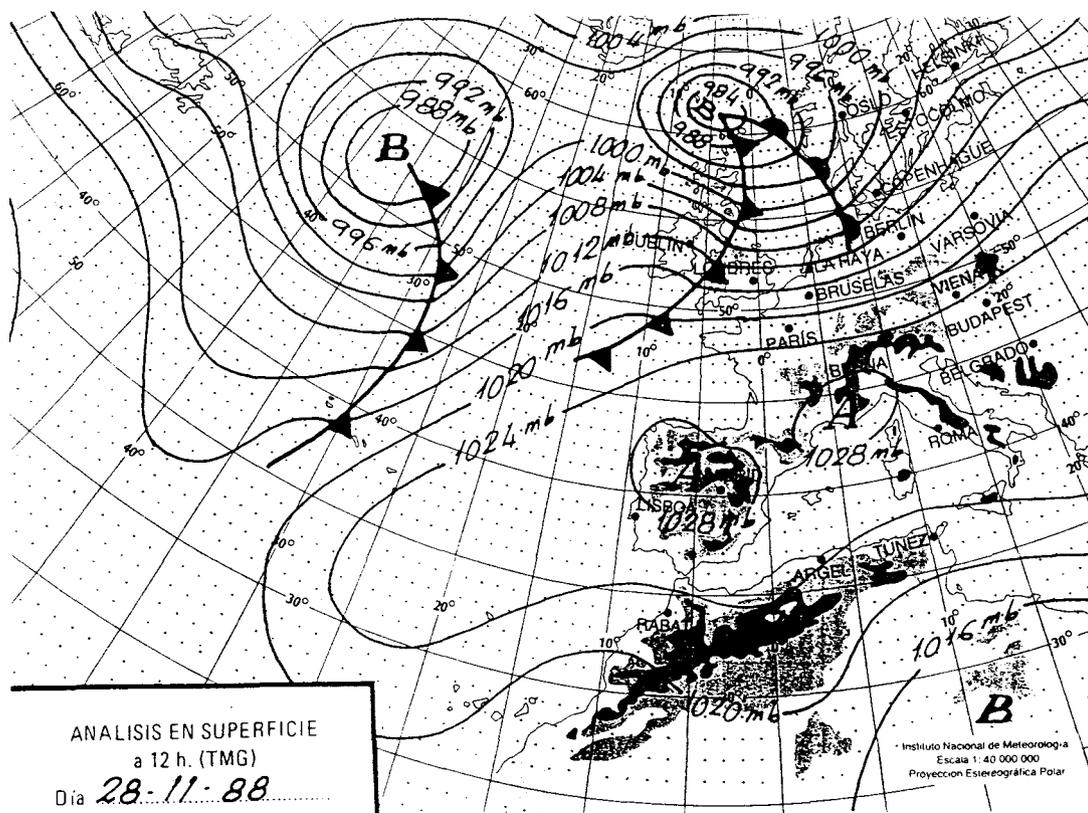


Figura V.2.3.1.1.- Mapa de superficie del 28 de Noviembre de 1988, a las 12 h. T.M.G., situación característica de tiempo seco en gran parte de la Península (Boletín Meteorológico Diario, 29.11.1988, INM).

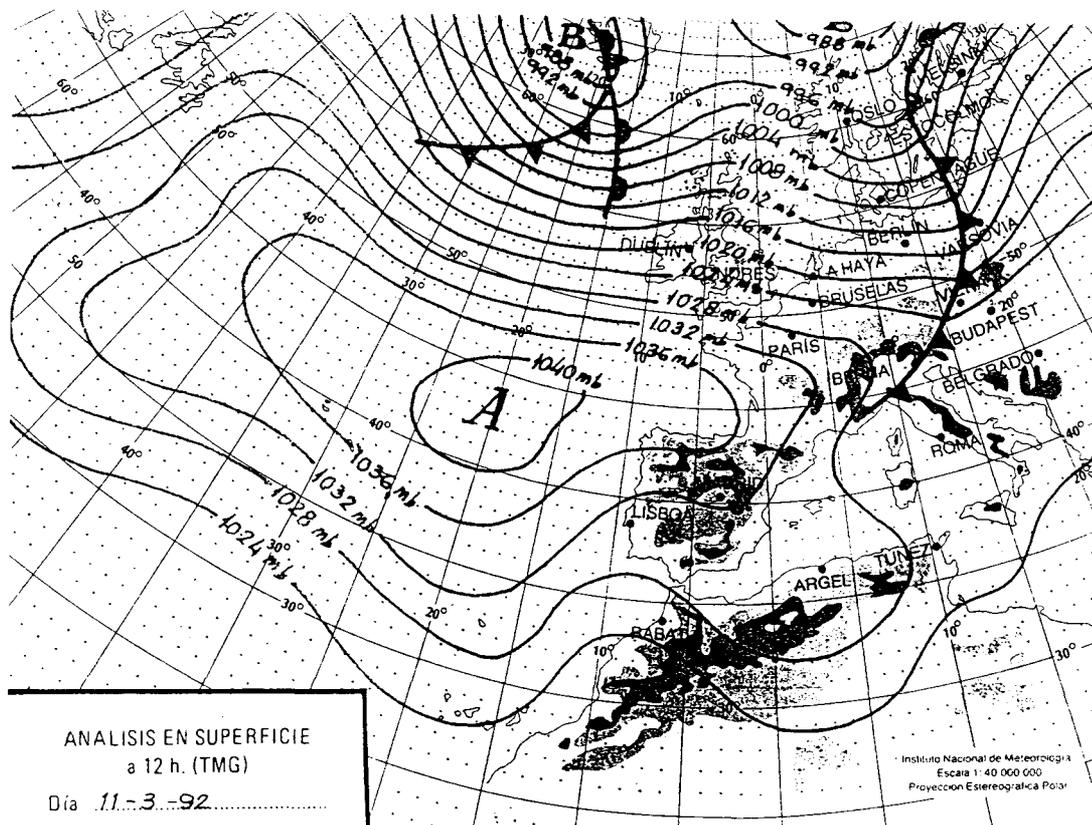


Figura V.2.3.1.2.- Mapa de superficie del 11 de Marzo de 1992, a las 12 h. T.M.G., situación característica de tiempo seco en gran parte de la Península (Boletín Meteorológico Diario, 12.03.1992, INM).

Informaciones sobre hambre y carestía durante la primavera de 1521 también se encuentran en la provincia de Córdoba (HR-3, C-1) y en Jaén (HC-4). La sequía culminó en el invierno de 1522 (AU-3), año en el que ya se obtuvo una buena cosecha en Loja (A-1). Durante estos años no hay noticias de olas de frío en la Península, y la sequía fue generalizada en toda España, a excepción de Galicia y la región cantábrica (C-2). El invierno de 1521 no se caracterizó por su severidad en Inglaterra (Lamb, 1977), y en la primavera de 1521 se encuentran noticias de inundaciones en Italia los días 29 y 30 de Mayo (Pavese et al., 1992). Por otra parte, la ciudad de Utrera envió un emisario a Sicilia en busca de trigo a finales de 1521, el cual pudo comprar el cereal, tras un viaje accidentado por las tormentas a través del mar Mediterráneo (HC-2). También la ciudad de Sevilla importó trigo del norte de Africa (AU-3). Así pues, tenemos condiciones de sequía en la Península a excepción del litoral norte, invierno suave en Inglaterra, frecuentes tormentas en el Mediterráneo Occidental, y precipitaciones en el norte de Africa. Todas estas noticias permiten inferir una situación anticiclónica centrada en la Península, posiblemente relacionada con el denominado anticiclón "ibérico" o una prolongación en el sentido de los paralelos del anticiclón de las Azores.

El periodo 1539-43 presenta interés, pues es coetáneo al primer mínimo destacado de la serie anual. El 29 de Abril de 1539 se tomaron medidas para evitar la salida del trigo de la ciudad de Loja (A-1). Coincidiendo con los meses de la cosecha (Mayo, Junio), aparecen este año noticias de hambre en España (HG-3), y las condiciones de sequía se dejaron sentir este año en varias localidades de la actual Castilla-La Mancha (A-4). En Alcolea de Almodóvar se realizaron procesiones y se destaca que desde entonces no faltó el agua en el pueblo, lo cual corrobora las informaciones sobre aumento de las precipitaciones desde mediados del siglo XVI (la fuente A-4 está fechada en 1575). El 22 de Diciembre de 1539 los fríos y heladas destrozaron las viñas en la ciudad de Málaga (C-1, C-2). En el invierno de 1540 las condiciones de sequía fueron generalizadas en España, secándose algunos ríos en Cataluña (C-2), y destacando las condiciones de sequía en Córdoba (C-1). Para el invierno de 1540, la ausencia de noticias de fríos extraordinarios en Andalucía y el litoral mediterráneo hace suponer a Font Tullot (C-2) que se produjeron situaciones anticiclónicas con algunas irrupciones del NW. La escasez de lluvias se prolongó en Sevilla hasta al menos el 29 de Marzo de 1540 (AU-3), y el resultado fue de carestía y hambre, como ocurrió en

Loja (A-1) o en Madrid (AU-4). La sequía se prolongó hasta el siguiente invierno en Andalucía (C-1), invierno caracterizado por su carácter templado y poco riguroso (C-1). También fue un invierno suave en Inglaterra (Lamb, 1977) y sin noticias destacadas en Italia (Camuffo y Enzi, 1992; Pavese et al., 1992). El año 1542 volvemos a encontrar noticias de rogativas pidiendo la lluvia en Málaga los meses de Febrero y Marzo, y en Marzo en Córdoba (C-1). La sequía obligó al cierre de las fuentes particulares durante el mes de Abril en la ciudad de Loja, afectada por la carestía de agua y trigo (A-1). Este año de 1542 se detectó la plaga de la langosta en Alemania, Italia y España (HG-2, HG-3), y en los meses de Junio a Agosto de 1543, se describe esta plaga desplazándose en sentido Este-Oeste, desde la actual Bosnia hasta Italia y España (HR-3). Ya vimos en el Capítulo II que el desarrollo de la plaga se realiza principalmente coincidiendo con situaciones de sequía, o con lluvias que terminan con la misma. Esto, unido al carácter templado de estos años, sin noticias de fríos rigurosos en Europa (Lamb, 1977), e incluso caluroso, con la ola de calor que afectó al valle Tamaro en Italia el verano de 1540, o con las inundaciones de Septiembre de 1541 de los ríos italianos de Tamaro y Bormida (Pavese et al., 1992), permite inferir una situación anticiclónica de eje latitudinal como la más predominante durante estos años.

Ya en el siglo XVII, la primera sequía de importancia aparece en el bienio 1604-05. La sequía comenzó en el otoño de 1604 (AU-1) y se prolongó durante el invierno y la primavera siguiente, secándose algunos afluentes del río Duero en Mayo de 1605, y afectando también a Galicia (C-1, C-2). El 8 de Enero de 1605 se realizaron en Granada rogativas pidiendo agua, y el 4 de Febrero se prohibió cultivar otra cosa que no fuera trigo (AU-1, HR-2). En Granada, la sequía se interrumpió brevemente con algunas lluvias y nevadas desde el 6 al 19 de Febrero, pero luego se reanudó durante la primavera, con el resultado de cosechas escasas, fuentes y ríos secos, falta de pastos y muerte de ganado (HR-3, AU-1). Idénticas condiciones se observaron en el Valle del Guadalquivir, con menciones a la falta de lluvia, cielos despejados y vientos "solanos" (es decir, de componente Este) desde Diciembre hasta Febrero en Utrera (HC-2, HR-1), hambre y carestía en Sevilla con lluvias tardías tras el otoño de 1604 y el invierno de 1605 (AU-2, AU-3), en Jaén y en toda Andalucía (HR-3). Este invierno fue severo en Italia, con heladas intensas en el norte del país (Camuffo y Enzi, 1992), así como en el Valle del río Tamaro, donde a las heladas se sumaron condiciones de sequía desde aproximadamente el 15 de Octubre de 1604 que

continuaron hasta mediados de Mayo, acompañadas de fríos y heladas durante el mes de Abril de 1605 (Pavese et al., 1992). Lamb (1977) establece este invierno como dudosamente frío en Inglaterra, y Buisman (citado por Camuffo y Enzi, 1992) lo cataloga como suave para Europa Occidental. Pfister (1981) no proporciona valores para sus índices de este invierno, pero asigna el índice 0 ("normalidad") para las precipitaciones de primavera en Suiza. La conclusión es la presencia de un potente anticiclón orientado en el sentido de los paralelos, y que afectaría tanto a la Península Ibérica como a Italia. Sin embargo, el hecho mencionado de que también Galicia estuviera afectada por las condiciones de sequía (C-2), junto a las referencias a la importación de trigo siciliano (AU-1, HR-2), parecen indicar una posición latitudinal ligeramente desplazada hacia el norte, en comparación con los ejemplos anteriores.

El siguiente ejemplo corresponde a las primaveras de los años 1640 y 1641. En Abril de 1640 aparecen noticias de sequía en Granada (AU-1), coincidentes con el periodo de sequía 1639-1641 que afectó a Castilla, en el que se registró un extraordinario estiaje de algunos ríos (C-2). La primavera de 1641 también se caracterizó por situaciones de sequía en Castilla y Andalucía (AU-1, C-1, C-2), además de la aparición de escarcha y hielo en Sevilla el 20 de Abril (AU-2), lo cual parece indicar una situación anticiclónica que dio lugar a heladas de irradiación. Esta situación debió afectar a gran parte de la Península, pues en Mayo se encuentran noticias de rogativas pidiendo la lluvia en Zamora (Alvarez Vázquez, 1986). No hay referencias a situaciones extremas características en otras partes de Europa (el índice pluviométrico de Pfister (1981) en Suiza es para esta primavera de +1), por lo que debemos suponer que se trata de un fenómeno estrictamente peninsular.

El año 1680 las rogativas pidiendo la lluvia en Sevilla se prolongaron hasta al menos el 26 de Marzo (AU-3). La sequía primaveral afectó a toda Andalucía (C-1) y en general a la vertiente atlántica peninsular (C-2). Si bien para esta primavera no hay noticias de condiciones rigurosas en Europa Occidental (Lamb, 1977), los índices de Pfister (1981) para Suiza indican un carácter cálido (+3) y seco (-1), indicando posiblemente la presencia de un anticiclón cálido orientado de este a oeste.

El invierno de 1683 se caracterizó por la sequía de la vertiente atlántica y los intensos fríos en la vertiente mediterránea, con nevadas en Castellón (C-2), lo cual parece indicar una

situación anticiclónica con advección del NE. La sequía continuó luego durante la primavera, con rogativas pidiendo la lluvia en Febrero y Marzo en Loja (C-1), el 3 de Abril en Málaga (A-3) y procesiones en Abril en Sevilla (AU-3). La sequía, que afectó de manera importante a Córdoba (C-1), provocó malas cosechas en el Valle del Guadalquivir, y, tras un verano caluroso, se prolongó durante el otoño hasta finales de Noviembre (AU-2). El invierno del 83 Lamb (1977) recoge la noticia de varias semanas con deriva de bloques de hielo a lo largo de las costas de Irlanda. Según Pfister (1981), fue suave (+1) y lluvioso (+4) en Suiza, lo cual parece corroborar la presencia de una situación anticiclónica de eje longitudinal en esta estación. En la primavera, en cambio, las condiciones en Suiza fueron frías (-3) y secas (-1), indicando la posibilidad de una orientación latitudinal del eje del anticiclón.

De los ejemplos seleccionados, sólo dos de ellos (invierno de 1506, invierno de 1683) parecen estar relacionados con situaciones anticiclónicas de advección del NE. En el resto de las situaciones encontramos el predominio o bien del anticiclón peninsular, o bien de anticiclones cálidos orientados según los paralelos. El establecimiento de largos periodos secos en la Península Ibérica responde fundamentalmente a la evolución del cinturón de altas presiones subtropicales. Según Font Tullot (1989) en esta evolución juega un importante papel la interacción entre los anticiclones cálidos o dinámicos, y los anticiclones fríos generados por el enfriamiento invernal de las superficies continentales. La posibilidad de intensificación de los anticiclones dinámicos en el otoño favorece el desarrollo de núcleos anticiclónicos fríos, cuya persistencia es susceptible de prolongarse durante el invierno. Esta situación es la que corresponde al desarrollo del "anticiclón ibérico", al actuar la Península como un minicontinente. En invierno, el anticiclón de las Azores puede retrasarse en su desplazamiento hacia el sur, invadiendo en parte la Península y dando lugar a situaciones de fuerte sequía en Andalucía (Capel Molina, 1975). En la primavera, el progresivo calentamiento de las superficies continentales, al impedir la formación de núcleos anticiclónicos fríos, no favorece la persistencia de las condiciones anticiclónicas generales, por lo que las sequías primaverales deben considerarse como situaciones de predominio marítimo (Capel Molina, 1977). Las situaciones encontradas, por tanto, no difieren esencialmente, si las inferencias son correctas, de las situaciones que encontramos hoy día.

5.2.3.2. Lluvias excesivas.

Un gran número de las noticias encontradas corresponden a descripciones de inundaciones y lluvias intensas y/o continuas. Las inundaciones ocurren tras lluvias anormalmente intensas o bien copiosas y duraderas. El concepto de lluvias excesivas se refiere, por tanto, a las precipitaciones intensas, asociadas a fuertes tormentas con aguaceros intensos y torrenciales de corta duración, o bien a lluvias copiosas asociadas al paso de una sucesión de sistemas nubosos de varios días de duración (García de Pedraza et al., 1990). A estas noticias les hemos asignado un índice pluviométrico de valor +1, y, cuando van acompañadas de informaciones sobre riadas o inundaciones, +2.

El criterio cuantitativo para considerar las precipitaciones de un día como apreciables es que superen los 0.1 mm (Frontana González y López Martínez, 1985). Para el caso de Granada se han establecido diversos criterios para distinguir entre lluvias débiles, moderadas o fuertes. Así, por ejemplo, Frontana González y López Martínez (1986), establecen como lluvias débiles las comprendidas entre 0.1 y 4.9 mm/día; las lluvias moderadas comprenden entre 5 y 14.9 mm/día y las lluvias fuertes más de 14.9 mm/día. Siguiendo con el criterio establecido en la reconstrucción, lo más conveniente es utilizar los deciles extremos como indicadores más fiables de las condiciones más lluviosas. Para el caso de la Cuenca del río Genil, estos valores son de 90 mm en el mes de Enero, 80 mm en Abril y Octubre y 5 mm en Julio (Moreno García, 1985). Como vemos, el criterio para determinar la intensidad y/o copiosidad de las precipitaciones varía con los meses del año, de acuerdo con la distribución mensual o estacional de las precipitaciones. Este criterio será además diferente para las diferentes regiones geográficas, teniendo en cuenta la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en Andalucía (Capel Molina y Andújar Castillo, 1978). En el siglo XX podemos encontrar diversos ejemplos con valores muy altos de las precipitaciones diarias, tales como las de Albuñol (Granada) el 19 de Octubre de 1973 (600 mm), Salobreña (Granada) el 11 de Octubre de 1976 (306 mm), o Alhaurín de la Torre (Málaga) el 26 de Febrero de 1984, que fueron de 208 mm (Almarza y Gómez, 1990). En su análisis de la tormenta del 19 de Octubre de 1973, Capel Molina (1974) indica como significativo el valor superior a 100 mm en 24 horas, al igual que Castillo Requena (1983) para la tormenta del 23 de Marzo de 1983 sobre Granada. Las lluvias intensas en la Meseta Castellana se definen

para valores de la precipitación superiores a 50 mm/día (Capel Molina, 1983a). Las riadas de Octubre de 1982 en Levante registraron precipitaciones superiores a los 500 mm en 48 horas (Miró-Granada, 1982). Como vemos, dependiendo de la localización geográfica y de la distribución estacional de las precipitaciones, los valores extremos oscilan en un amplio intervalo.

Nuestro interés ahora radica en establecer los posibles tipos de tiempo que provocaron lluvias excesivas en el periodo histórico. Estas, a falta de medidas pluviométricas cuantitativas, se identifican mediante los efectos e impactos que produjeron, en especial las riadas e inundaciones. Siguiendo con el estudio comparativo con el presente, el primer paso es establecer los mecanismos responsables de este tipo de fenómenos en el presente.

Las situaciones típicas de lluvias en Andalucía obedecen al contraste existente en la Península Ibérica entre la cuenca atlántica y la costa mediterránea. Las situaciones de Poniente en superficie sobre la costa atlántica, típicas del otoño y el invierno, se caracterizan por la llegada de frentes nubosos y lluvias a las costas atlánticas, con una intensa circulación zonal del Oeste en altura. La situación típica de lluvias en la costa mediterránea se caracteriza por vientos de componente Este, y un embolsamiento de aire frío en altura, que provocan intensas tormentas, típicas del mes de Octubre (García de Pedraza y García Vega, 1992).

Los mayores riesgos de avenidas e inundaciones en la Cuenca del Guadalquivir ocurren con la permanencia relativamente prolongada de las lluvias copiosas originadas por los temporales de viento y lluvia atlánticos que afectan a Andalucía de forma más generalizada. Estas situaciones presentan un máximo nítido en invierno, aunque también actúan en primavera y otoño (Castillo Requena, 1989). En verano se presentan lluvias tormentosas localizadas allí donde el relieve y las condiciones topográficas lo favorecen, asociadas a la baja térmica peninsular (Capel Molina, 1977), en una situación de superficie de flujo poco definido. Son situaciones predominantemente convectivas, muy irregulares y con riesgo de fuerte torrencialidad, sobre todo en puntos de la Andalucía Mediterránea (Castillo Requena, 1989). Las situaciones del Este provocan precipitaciones relativamente abundantes que, sobre todo en Otoño, se vuelven torrenciales en la costa mediterránea. En

el surco intrabético, región M, el volumen de precipitaciones disminuye notablemente respecto al valle del Guadalquivir, por estar protegido de los vientos de componente Oeste por las cordilleras sub-béticas y de los vientos de componente Este por la Penibética (García de Pedraza y García Vega, 1993). Sólo por los pasillos de los ríos, como en el caso de la cuenca del Genil y Granada (Bosque Maurel, 1957), llegan las lluvias atlánticas con alguna efectividad, pero sensiblemente mermadas respecto a la depresión del Guadalquivir. Esto se ha reflejado en nuestra reconstrucción, con valores menores de las precipitaciones reconstruídas para la región M.

Un ejemplo moderno de una situación de lluvias intensas e inundaciones en la ciudad de Málaga, provocadas por una sucesión de borrascas de origen atlántico, viene dado por la situación correspondiente a finales del otoño de 1989, del 17 al 26 de Noviembre. En la Figura V.2.3.2.1 se muestra el mapa de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. del día 19 de Noviembre de 1989. Este día se recogieron 81 mm en Málaga, 66 mm en Jerez de la Frontera, 54 mm en Córdoba y 45 mm en Sevilla (Boletín Meteorológico Diario, 20.11.1989). Una situación semejante se produjo en Granada el 16 de Octubre de 1992, con riadas que provocaron cortes de carreteras y desplazamientos de tierras (IDEAL, 17.10.1992). Este día se recogieron 37 mm en Málaga, 26 mm en Granada, 24 en Jerez de la Frontera, 20 en Córdoba y 18 mm en Sevilla (Boletín Meteorológico Diario, 17.10.1992). La situación de superficie a las 12 h. T.M.G. se recoge en la Figura V.2.3.2.2. Un temporal de lluvia y viento de semejante origen azotó Andalucía los días 6 y 7 de Marzo de 1991, provocando cortes de carreteras en diversos puntos de Andalucía (IDEAL, 08.03.1991). El 6 de Marzo se registraron 57 mm en Málaga, 39 mm en Jaen, 36 mm en Córdoba, 29 mm en Sevilla y 14 mm en Granada y Almería (Boletín Meteorológico Diario, 07.03.1991). La situación de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. se muestra en la Figura V.2.3.2.3. Como vemos, estas situaciones se presentan en otoño y primavera. Son también típicas del invierno, pero la sequía que ha afectado a la península durante los últimos años ha impedido la localización de ejemplos recientes correspondientes al invierno.

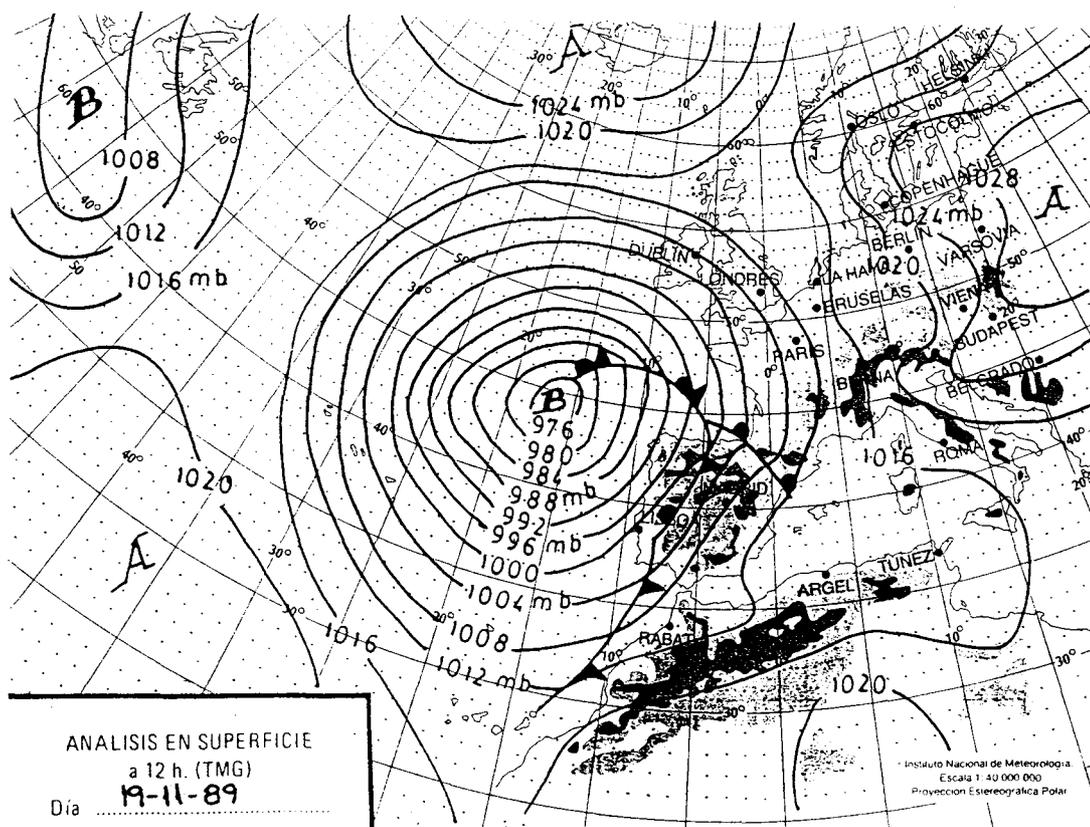


Figura V.2.3.2.1.- Mapa de superficie del 19 de Noviembre de 1989 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de lluvias intensas de origen atlántico (Boletín Meteorológico Diario, 20.11.1989, INM).

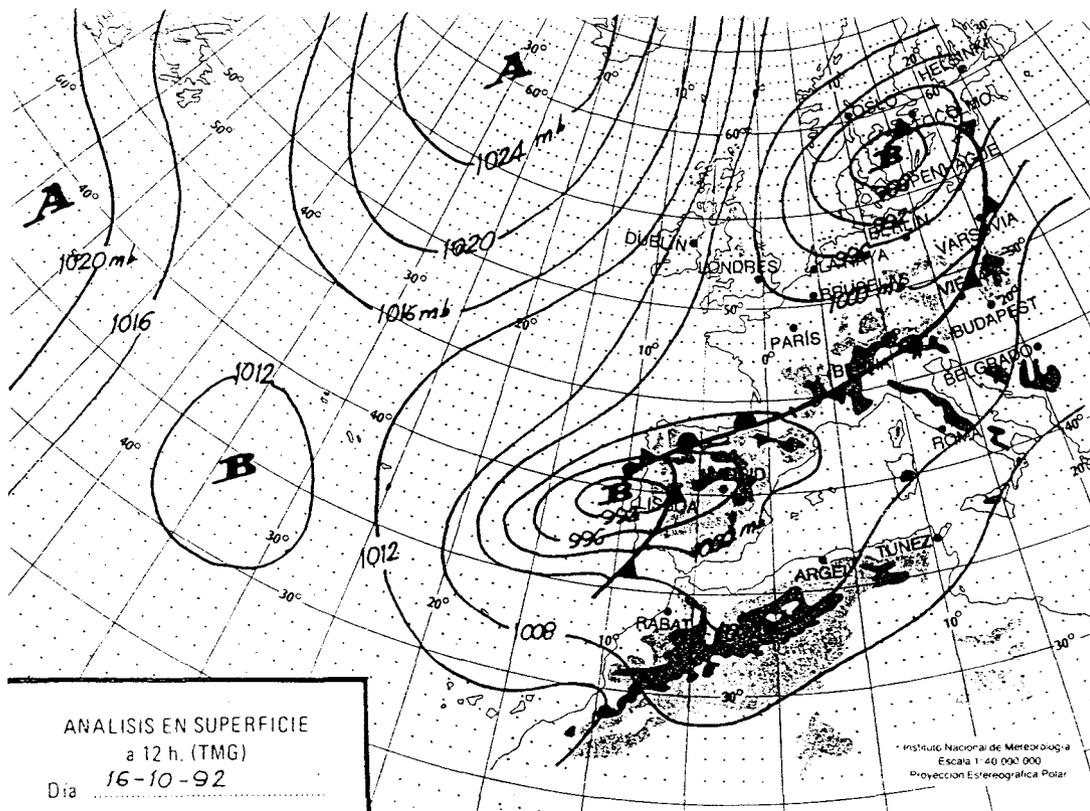


Figura V.2.3.2.2.- Mapa de superficie del 16 de Octubre de 1992 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de lluvias intensas de origen atlántico (Boletín Meteorológico Diario, 17.10.1992, INM).

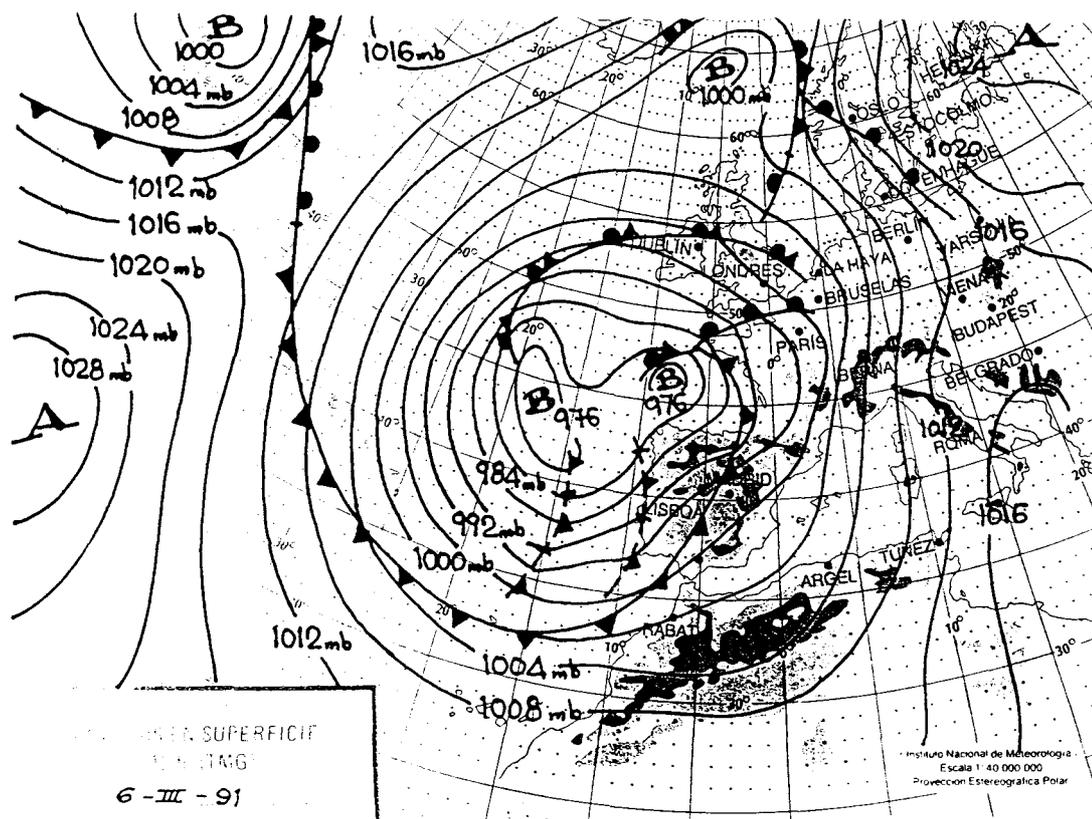


Figura V.2.3.2.3.- Mapa de superficie del 6 de Marzo de 1991 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de lluvias intensas de origen atlántico (Boletín Meteorológico Diario, 07.03.1992, INM).

Entre las situaciones que podemos denominar del Este, y que afectan preferentemente al sudeste de la Península Ibérica, podemos destacar el temporal de fuertes lluvias y vientos de comienzos de Mayo de 1993, con vientos de levante en el litoral mediterráneo que llegaron a alcanzar hasta 80 km por hora en Almería (EL PAIS, 06.05.1993). El día 4 se recogieron 36 mm en Almería, 33 mm en Tarifa, 29 mm en Cádiz y 19 mm en Málaga (Boletín Meteorológico Diario, 05.05.1993). La situación de superficie correspondiente a las 12 h. T.M.G. se recoge en la Figura V.2.3.2.4. La situación típica del Este, caracterizada por una depresión de origen térmico situada sobre el norte de Africa con la prolongación de un seno hacia la mitad meridional de la Península Ibérica también se encuentra en el mapa de superficie de las 12 h. T.M.G. del 19 de Febrero de 1992 (Figura V.2.3.2.5). Las importantes precipitaciones recogidas, 28 mm en Sevilla, 43 mm en Córdoba, 29 mm en Jaén, 36 mm en Granada, 30 mm en Tarifa, 21 mm en Málaga, 11 mm en Almería (Boletín Meteorológico Diario, 20.02.1992) hicieron pensar a los agricultores que la sequía invernal había terminado (IDEAL, 20.02.1992).

El verano, caracterizado por una situación de prolongada sequía en Andalucía, que le confiere su carácter mediterráneo, registra precipitaciones de tipo convectivo, asociadas a la baja de origen térmico producidas sobre la región. Estas precipitaciones se producen en forma de tormentas y lluvias torrenciales de escasa duración, como la que afectó a la provincia de Granada el 7 de Julio de 1992, que provocó inundaciones y pérdidas económicas cuantiosas en la localidad de Peligros (IDEAL, 08.07.1992, EL PAIS, 09.07.1992). La situación en superficie a las 12 h. T.M.G. se muestra en la Figura V.2.3.2.6. Este día sólo se registraron 0.6 mm de precipitaciones en Granada (aeropuerto), y las precipitaciones fueron inapreciables en el resto de Andalucía (Boletín Meteorológico Diario, 08.07.1992), lo cual indica el carácter marcadamente local del fenómeno.

En el periodo histórico situaciones de interés por las intensas precipitaciones son las correspondientes a los años 1544-45 (máximo de invierno y primavera), la década de 1590 (máximo relativo invernal y anual), 1617-18 (tendencia creciente en invierno y primavera), 1625-26 (máximo de invierno, primavera y anual), 1629 (índice de verano positivo), 1634-35 (máximo invernal y anual), 1642 (índice de invierno positivo), 1649 (tendencia creciente en primavera), 1661 (tendencia creciente en otoño) y 1684 (máximo invernal).

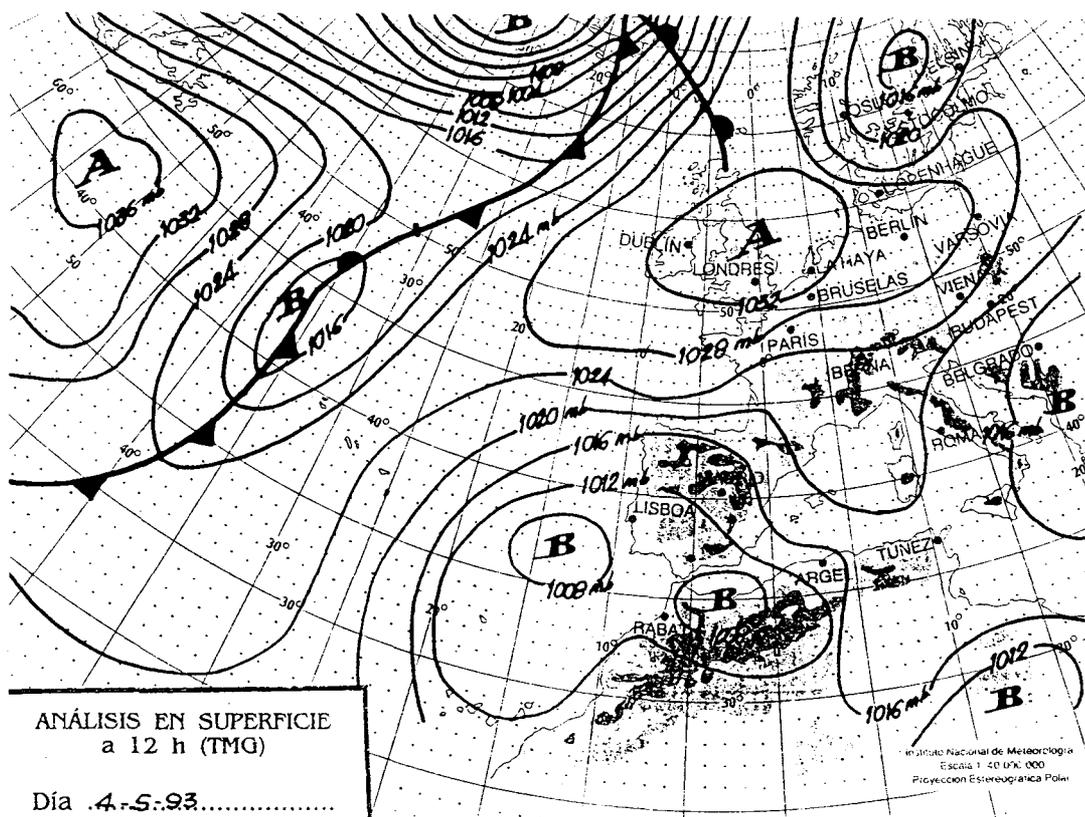


Figura V.2.3.2.4.- Mapa de superficie del 4 de Mayo de 1993 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de lluvias intensas de origen mediterráneo (Boletín Meteorológico Diario, 05.05.1993, INM).

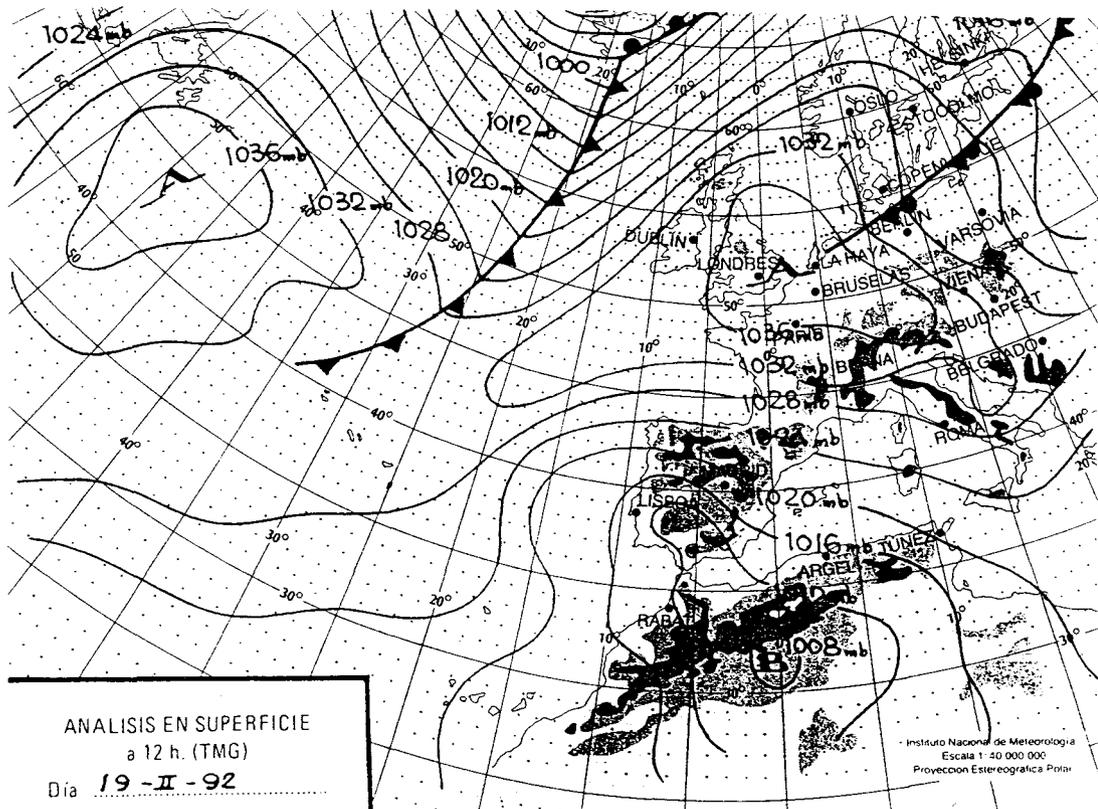


Figura V.2.3.2.5.- Mapa de superficie del 19 de Febrero de 1992 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de lluvias intensas de origen mediterráneo (Boletín Meteorológico Diario, 20.02.1992, INM).

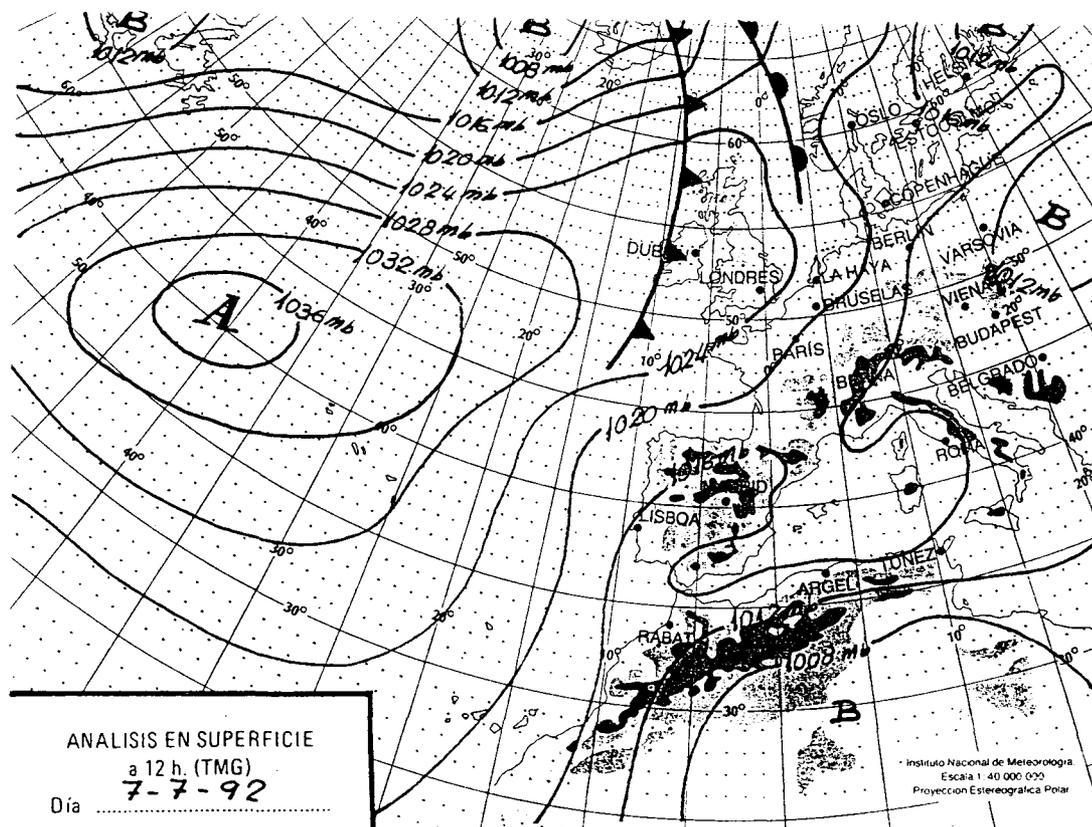


Figura V.2.3.2.6.- Mapa de superficie del 7 de Julio de 1992 a las 12 h. T.M.G. Situación característica de posible aparición de tormentas convectivas locales (Boletín Meteorológico Diario, 08.07.1992, INM).

El año 1544 puede caracterizarse como muy lluvioso, a tenor de las noticias relativas a una gran crecida del Guadalquivir en Sevilla durante el mes de Enero (AU-3), o las informaciones sobre acumulación de lodo en las calles y caminos de Loja, donde fuentes y pilares públicos llegaron a la saturación (A-1). En este año también hay referencias a crecidas del Guadiana en La Mancha (A-4, C-2). 1545 fue también un año especialmente lluvioso entre Enero y Agosto en Andalucía (HG-3), con riadas del Guadalquivir en Enero tras grandes lluvias (AU-2). Estas lluvias pudieron ser la causa de las noticias de escasez y carestía en Loja (A-1). Avenidas y riadas ocurrieron también en otros puntos de la Península, en Enero en la Cuenca del Guadiana (A-4, C-2), en Diciembre de 1544 en la Cuenca del Tajo y en la Cuenca del Duero (C-2). La interpretación sinóptica de estas noticias debe tener en cuenta no sólo la estación del año a la que se refieren (invierno y primavera, sobre todo invierno por lo que afecta a Andalucía), sino también la extensión espacial de las lluvias, que en ambas ocasiones también afectaron a zonas de la Meseta castellana. Hay informaciones de inundaciones del río Tanaro en Italia el 22 ó 23 de Mayo de 1545 (Pavese et al., 1992), por lo que las intensas precipitaciones de esta primavera parecen haberse extendido por el Mediterráneo Occidental. La década de los 1540 presenta un valor negativo del índice de severidad del invierno en Inglaterra y Alemania (Lamb, 1977), y el invierno de 1544 puede caracterizarse en Europa como severo (Lamb, 1977).

La década de los 1590 presenta varias informaciones de riadas e inundaciones. En 1590 las inundaciones afectaron en Febrero a Granada (AU-1), y en los meses de Febrero y Marzo a Sevilla (AU-3, C-2). La primavera presentó también grandes lluvias y riadas en Loja los días 27 y 28 de Marzo, provocando el retraso de la cosecha (A-1), y se caracterizó por ser muy lluviosa en la Meseta Norte (C-2). Estas lluvias pudieron ser la causa de que el año fuera considerado como "estéril" en Cádiz (HC-1). Se registran también noticias de lluvias intensas en Abril y Mayo de 1590 en el valle del río Tanaro en Italia (Pavese et al., 1992).

Las inundaciones se repitieron en Sevilla en 1593 durante el mes de Enero (AU-3), año en el que se realizaron numerosas concesiones de fuentes en Loja (A-1). Del 30 de Octubre al 7 de Noviembre de 1592, hay noticias de galernas con vientos de componente sur en la isla de Hven, entre Dinamarca y Suecia, interrumpidas por fuertes vientos del oeste el

día 2 de Noviembre, que produjeron una inundación marina excepcionalmente alta (Lamb, 1991). Gottschalk (citado por Lamb, 1991) ha encontrado registros de una serie de severas tormentas a finales de 1592 en el Norte de Holanda y en Bélgica en Diciembre y Enero. Una inundación marina destruyó granjas y casas el 25 de Enero de 1593 en las costas del mar del Norte, producida, según Lamb (1991), por una galerna del suroeste, seguida por una gran tormenta del noroeste.

Respecto a la primavera de 1593, a las noticias de sequía en Madrid (AU-4) y en general en Andalucía (HR-3), se añaden informaciones sobre precipitaciones a partir del 21 de Abril (HR-3). El 30 ó 31 de Mayo se produjo una granizada en el valle del río Tanaro en Italia (Pavese et al., 1992). Font Tullot (1988) interpreta estos fenómenos como una intensa actividad convectiva alternando con periodos de sequía.

Las inundaciones volverían a azotar a Sevilla en los meses de Noviembre y Diciembre de 1595 (HG-2, HG- 3, AU-3), con una nueva noticia de inundaciones en la Cuenca del Duero en Enero de 1596 (C-2). Los primeros meses del invierno de 1596 fueron suaves y sin nevadas en el valle del río Tanaro en Italia, que provocó inundaciones a mediados del mes de Abril de 1596 (Pavese et al., 1992). En Enero y Febrero de 1597 se produjeron inundaciones en la Cuenca del Duero (Alvarez Vázquez, 1986) indicando así la continuidad durante esta década de las lluvias intensas y continuadas en la Península Ibérica.

La década de los 1590 se caracteriza por un índice de severidad del invierno negativo en Inglaterra y Alemania, catalogando para Europa el invierno de 1591 como severo y al de 1595 como muy severo (Lamb, 1977). De hecho, en el invierno del año 1595 se produjo una helada del Támesis en Londres (Lamb, 1977), y Le Roy Ladurie (1983) engloba este año dentro de un periodo de primaveras-veranos fríos y frescos en Francia. El invierno de 1595 ha sido también catalogado como severo en el norte de Italia (Camuffo y Enzi, 1992). En esta década hubo un significativo incremento de la fuerza del viento cerca de los 52°N en el Mar del Norte, con direcciones predominantes del viento del WSW y del SW (Lamb, 1991).

Las noticias de intensas y continuadas lluvias también se encuentran en Andalucía para

el invierno de 1617-18, con referencias al mal tiempo y las continuadas lluvias (más de 60 días consecutivos) desde Diciembre de 1617 en Sevilla (AU-3), en Granada durante Febrero y Marzo (AU-1), con el resultado de inundaciones en Marzo en Sevilla y Córdoba (AU-2, R-4, C-2). Este año también hay referencias de inundaciones del Ebro en Zaragoza, pero sin precisar la fecha concreta (C-2). El invierno de 1618 presenta un valor positivo del índice de severidad en Inglaterra (Lamb, 1977), y valores negativos tanto para el índice térmico como para el de humedad en Suiza (Pfister, 1981).

Si bien en los casos anteriores las inferencias han de realizarse sobre informaciones bastantes escuetas, no es éste el caso del invierno del año 1626, del cual contamos con información más detallada, hasta la precisión diaria incluso. Para Font Tullot (C-2), los primeros meses de 1626, con catastróficas riadas e inundaciones en la Cuenca del Guadalquivir, Málaga, Cataluña y Levante, predominaron situaciones del oeste que dieron lugar a que este año se denominara al "año del diluvio". Las intensas lluvias e inundaciones del río Tormes en Salamanca los días 26 y 27 de Enero (AU-1, R-4, C-2), o de la Cuenca del Duero el 12 de Febrero, están recogidas por diversas relaciones y compilaciones (C-2, Alvarez Vázquez, 1986). Las intensas y continuas lluvias también se registraron en Madrid (AU-4) así como en las Cuencas del Turia (Teruel) y del Júcar (C-2).

Las fuentes AU-2 y AU-3 nos ofrecen una descripción bastante detallada de las inundaciones en la ciudad de Sevilla. La información sobre las fechas previas nos habla de borrascas en las costas del Atlántico que impiden una navegación normal a los buques el 30 de Noviembre del año anterior 1625, y de lluvias durante el mes de Diciembre de este año, que impidieron que los días 8 y 9 saliera una procesión por las calles de Sevilla (AU-2). Las lluvias se volvieron más intensas desde el 17 de Enero, y, acompañadas por fuertes vientos provocaron el desbordamiento del Guadalquivir el día 22. Los efectos catastróficos de la inundación se agravaron la noche del 24, y hasta la noche del 25 no amainó el temporal. El día 26 de Enero se caracterizó por la presencia de viento y aguaceros. Tras unos días de relativa calma meteorológica, el 2 de Febrero vuelven el viento y la lluvia, y el río vuelve a desbordarse. Las precipitaciones y los vientos se intensifican el 6 de Febrero, y no se aplacan hasta el día 8. El 12 de Febrero vuelve a subir el nivel del río (Jorquera, en la fuente AU-1, fecha esta inundación el día 11 de Febrero), el día 13 amanece un día claro y

despejado, pero vuelve a llover por la noche. El 14 de Febrero se registran lluvias poco intensas, y hasta el día 26 de Febrero no informan estas fuentes del cese de las lluvias y los vientos. Málaga también sufrió los efectos de una inundación el 25 de Enero (C-2). La inferencia más clara de estas informaciones es que una sucesión de borrascas de intensa actividad e inestabilidad azotó a Andalucía durante estas fechas.

Según Le Roy Ladurie (1983), nos encontramos inmersos en un periodo frío y fresco para Francia. En Inglaterra y Alemania, el índice de severidad del invierno de Lamb presenta valores negativos en la década de los 1620 (Lamb, 1977). El 27 de Abril de 1626 se produjo una inundación del río Tanaro en Italia (Pavese et al., 1992). Para Suiza, Pfister (1981) proporciona un valor positivo del índice térmico y negativo del índice de lluvias.

El invierno de 1635 se registraron inundaciones en Granada durante el mes de Febrero (AU-1) y noticias de lluvias y vientos intensos en Sevilla el 7 de Febrero (AU-2). Hay también noticias de rogativas pidiendo buen tiempo en Zamora el 3 de Febrero (Alvarez Vázquez, 1986) y de inundaciones en Valladolid (Cuenca del Duero) el 4 de Febrero (C-2). El invierno de 1635 se heló el Támesis en Londres (Lamb, 1977) y para Suiza fue un invierno frío y seco (Pfister, 1981). La situación se repetiría en la Cuenca del Duero en Febrero de 1636 (R-4), con rogativas pidiendo el buen tiempo en Zamora en Febrero (Alvarez Vázquez, 1986).

El invierno de 1642 también se caracterizó por lluvias generalizadas en toda Andalucía. Así, durante el mes de Enero, la lluvia impide la realización de procesiones en Granada, y su continuidad acabará por provocar las inundaciones de los ríos Genil y Darro en Granada y Guadalquivir en Sevilla (AU-1). La lluvia había sido intensa antes del 16 de Enero, día en que llegó acompañada en Sevilla por "viento del mar" (es decir, del SW). El día 17 amaneció el río crecido y por la noche se produjo el desbordamiento del Guadalquivir (AU-2). El viento calmó el 20 de Enero, y la inundación se dio por concluída el día 26 (AU-3). En Febrero, se registra lluvia en Granada el día 2 (AU-1) y tormenta en las costas atlánticas de Andalucía (AU-2).

Estas noticias vienen acompañadas por informaciones de nevadas en la Meseta durante

el mes de Enero, así como una intensa ola de frío del NE con tramontana afectando a Cataluña (C-2). El periodo 1640-43 es considerado como frío y húmedo en Francia (Le Roy Ladurie, 1983), y frío y de precipitaciones normales en Suiza (Pfister, 1981).

Todos los ejemplos analizados hasta ahora corresponden a situaciones generalizadas en Andalucía, con coincidencias apreciables entre los registros de la región SW y la región M (Tabla IV.6.9.2). El invierno de 1684 puede considerarse de características similares, pues, aunque carecemos de noticias relativas a la región M, este invierno destacó por ser lluvioso en Extremadura y por las inundaciones que se produjeron en la Cuenca del Segura los meses de Diciembre de 1683 y Enero de 1684 (C-2). Las fuentes que se refieren a Sevilla destacan por su fiabilidad (AU-2, AU-3), y el hecho remarcable de este invierno, es que se encuentra inmerso en un periodo generalizado de sequía, no sólo en la Península Ibérica, sino también en Francia e Inglaterra (Le Roy Ladurie, 1983). Las lluvias comenzaron el 29 de Noviembre de 1683, y no dejó de llover durante los meses siguientes de Diciembre y Enero. A principios de Febrero se detectan lluvias, cielos nublados y vientos del SW. El 6 de Febrero el viento muda a viento de componente norte, cesan las lluvias, y el día 7 de Febrero amanece despejado. En Febrero de 1684 se produjeron inundaciones del río Belbo (afluente del Tíber) en Italia (Pavese et al., 1992), siendo este invierno catalogado en el norte de Italia como "gran invierno" (Camuffo y Enzi, 1992), con heladas y muerte de población y ganado. En Febrero de 1684 grandes bloques de hielo derivaron por el Canal de la Mancha hacia el Oeste a lo largo de la costa inglesa, lo cual interpreta Lamb (1991) como resultado de la acción de anticiclones de bloqueo situados al norte de esta región, típicos de inviernos severos en Inglaterra.

Las características comunes a los ejemplos hasta ahora descritos son de lluvias generalizadas en Andalucía, persistentes, intensas, acompañadas de fuertes vientos de componente S o SW, y desencadenantes de inundaciones, todas ellas en invierno, o con prolongación hasta la primavera. Estas situaciones se producen también en otros puntos de la Península Ibérica, especialmente en la Meseta castellana, con efectos igualmente catastróficos en las Cuencas del Guadiana, el Tajo y el Duero. Las situaciones sinópticas responsables de estas observaciones son las descritas como ponientes, o situaciones ciclónicas del W o del SW (Capel Molina 1977, 1983a; Castillo Requena, 1989, García de Pedraza et

al., 1990). En general, estas situaciones se corresponden con un periodo especialmente frío y perturbado en Europa, que parece haber tenido su fase culminante entre 1560 y 1720 (Lamb, 1991). Como hemos dicho, para Le Roy Ladurie (1983), éste es un periodo de primaveras-veranos fríos y frescos en Francia, que se prolongaría hasta 1650, fecha a partir de la cual dominaría un periodo más cálido y seco (coincidiendo así en líneas generales con nuestras observaciones para Andalucía en el siglo XVII). La intensidad creciente de las tormentas durante la Pequeña Edad de Hielo en el Atlántico Norte y Europa tuvo que ver, según Lamb (1977, 1991) con el incremento del gradiente térmico entre la superficie oceánica más fría alrededor de Islandia y el océano al sur de los 50-55°N y el Golfo de Vizcaya. Aunque, según Lamb, las desviaciones respecto a las condiciones del siglo XX fueron en la latitud peninsular y andaluza más pequeñas que en latitudes septentrionales, los ejemplos citados muestran que estas condiciones afectaron de forma significativa a nuestra región.

Como ejemplo de las intensas precipitaciones de carácter convectivo que afectaron de forma localizada a puntos dispersos de Andalucía, tenemos el Verano de 1629, en el que una tormenta provocó inundaciones en Granada y alrededores el 28 de Agosto. Previamente, una situación de sequía había afectado a la Península, con noticias de 3 procesiones implorando el agua en Zamora durante el mes de Mayo (Alvarez Vázquez, 1986), así como de un periodo frío y seco en Levante y Cataluña (C-2). La tormenta del 28 de Agosto de 1629 en Granada está recogida por diversos autores y relaciones (AU-1, HR-2, HR-3, R-4, R-5). Las descripciones de la misma coinciden en su carácter repentino, hacia las dos de la tarde, y su breve duración, no obstante la cual el impacto fue desastroso. La fuente R-5, la más detallada de las utilizadas, destaca el carácter despejado del día hasta ese momento, en el que se desencadenó una tormenta acompañada de aparato eléctrico. La hora del suceso, su brevedad e intensidad, la época del año y la situación de sequía antecedente, son factores que indican inequívocamente el carácter convectivo del suceso.

La Primavera de 1649 se produjo una situación de lluvias continuas y aguaceros que se prolongaron desde el 27 hasta al menos el 30 de Marzo en Sevilla (AU-2, AU-3). La riada del Guadalquivir se produjo el 4 de Abril, y, según las fuentes, la situación de cielos nublados se mantuvo hasta el mes de Julio. Estas informaciones deben tratarse con cautela,

pues coinciden con la epidemia de peste que afectó de forma cruenta a Andalucía este año, y, aunque los autores son testigos presenciales de los sucesos, sus impresiones pudieran estar afectadas por el impacto de la epidemia. No obstante, en 1649 se han registrado lluvias intensas de Febrero a Junio en Italia, con inundaciones del río Belbo durante el mes de Abril (Pavese et al., 1992), con lo cual es posible inferir una situación de lluvias generalizadas en la cuenca del Mediterráneo.

Un posible ejemplo de una situación más localizada, correspondiente al otoño de 1661, es el de las inundaciones de Málaga el día 22 de Septiembre (A-3). Para este año, contamos sólo con un valor negativo del índice correspondiente a la región SW, y situación de normalidad para la región M. El índice negativo de la región SW tiene precisión anual, por lo que posiblemente corresponda al invierno-primavera. Colosía Rodríguez (1978, 1982) interpreta esta inundación del Guadalmedina como el resultado del contacto entre las masas de aire cálido procedentes del Mediterráneo y una gota fría en altura, originándose una situación de alta inestabilidad. Existen diversas fuentes que describen el suceso, estudiadas por Colosía Rodríguez (1978). La inundación del río Guadalmedina ocasionó el hundimiento económico y demográfico de la ciudad de Málaga. El comienzo del temporal se sitúa entre las 8 y las 9 de la mañana, y su duración se establece entre 4 y 7 horas, según las fuentes. El Cabildo Municipal, en carta enviada al rey Felipe V dando cuenta de las pérdidas, refiere la continuación de las lluvias los días posteriores y el consiguiente entorpecimiento de las labores de reconstrucción de los destrozos.

Los ejemplos analizados, todos ellos correspondientes a periodos de tendencia creciente de nuestro índice o bien a máximos del mismo, junto a la consideración de la época fría como la más destacada respecto al comportamiento anual de las lluvias, indican el importante papel que las borrascas de origen atlántico, tipos ciclónicos del W o del SW, tuvieron en el ritmo de las precipitaciones en Andalucía durante la época en estudio. Sin embargo, el bajo porcentaje de situaciones generalizadas a toda Andalucía, indica también el importante papel de los mecanismos más localizados, atribuibles en general a situaciones de origen mediterráneo, como las denominadas "gotas frías", durante los meses de verano y otoño.

5.2.4. Vientos.

La información sobre vientos en las fuentes de datos es escasa (Tabla IV.2.1), y, cuando se refieren a vientos en tierra, en la mayoría de las ocasiones no se indica la dirección del viento, tan sólo sus efectos más o menos desastrosos, y, en ocasiones, su vinculación con la aparición de lluvias y tormentas. Las noticias sobre la influencia de los vientos presentan un mayor potencial de información cuando se refieren a las condiciones marítimas, pues suelen estar relacionadas con las descripciones de viajes y rutas de navegación, naufragios a causa de tormentas en el mar, etc.

Ya hemos mencionado en esta Memoria alguno de los efectos de la acción de los vientos, como por ejemplo las referencias a la erosión eólica en las costas de Cádiz (HC-1, véase 3.1), o su vinculación con las borrascas atlánticas causantes de inundaciones en el Valle del Guadalquivir (5.2.3.2). Nuestro objetivo en este apartado es centrarnos en el análisis específico de las informaciones sobre vientos.

Los vientos intensos pueden clasificarse en dos grandes grupos, atendiendo a su origen (García de Pedraza et al., 1990): vientos isobáricos y orogénicos. Los primeros están asociados al campo de presiones de intensas borrascas móviles, mientras que los segundos están provocados por la configuración de montañas, valles y costas que perturban el régimen atmosférico. Es corriente que ambos factores actúen conjuntamente, reforzando la violencia y efectos del viento. Así, por ejemplo, los vientos dominantes en la Cuenca del Guadalquivir se presentan con frecuencia en dos sentidos, vientos del NE y del SW, a causa de la disposición orográfica del Valle del Guadalquivir, orientado de NE a SW y flanqueado por los sistemas montañosos de Sierra Morena y las Cordilleras Béticas (Capel Molina, 1977).

En la Cuenca del Guadalquivir (región SW) los vientos del NE son fríos en los meses invernales y secos en la época estival, mientras que los vientos del SW son templados y húmedos a lo largo de todo el año. El viento del Este tiene un acusado efecto Föhn, dejando las precipitaciones en la cara oriental de las Béticas, y soplando reseco en la Bahía de Cádiz (Capel Molina, 1977; García de Pedraza y Castillo Requena, 1981). El surco intrabético, formado por las depresiones de Antequera, Granada y Guadix-Baza (región M), rodeado de

sistemas montañosos, presenta un elevado porcentaje de periodos de calmas, con predominio de vientos de componente W en primavera-verano, y de componente E en invierno-otoño (Bosque Maurel, 1957). El Mar de Alborán es una zona poco frecuentada por borrascas frías, pero si éstas llegan desde el Golfo de Cádiz, los vientos SW-S-SE provocan intensos aguaceros y temporal de viento y mar en la zona, desde Málaga hasta Almería (región R-5). En esta región, los vientos de Levante pueden soplar persistentemente durante varias semanas. El pasillo orográfico formado por el Estrecho de Gibraltar-Mar de Alborán, entre las Béticas y el Atlas en el Norte de Africa, es una zona de marcada frecuencia de vientos. Con bajas presiones en Canarias y altas en Baleares puede llegar a soplar el levante con rachas de hasta 50-80 km/h. (García de Pedraza y Castillo Requena, 1981).

Como ejemplos contemporáneos de vientos del SW podemos remitirnos a los ejemplos mencionados en la sección previa respecto a las lluvias intensas causantes de inundaciones en el valle del Guadalquivir (Figuras V.2.3.2.1, 2 y 3). Vientos intensos de levante también han sido referidos al comentar las situaciones lluviosas del Este (Figura V.2.3.2.4).

Entre los diversos tipos de viento mencionados en las fuentes, merecen destacarse por estar definidos con precisión (P-4), el solano, el levante, el ábrego y el cierzo. El primero se define como muy caliente y molesto, procedente del Oriente, "donde el sol nace"; el levante recibía también el nombre de "leste"; el viento del sur se denomina "viento de la mar" o "viento del mediodía", el ábrego es el viento del SW portador de lluvias, y el cierzo es el viento frío y seco del norte.

Pese a la escasez de noticias relativas a tipos de vientos, hay alguna mención significativa. Así, por ejemplo, encontramos referencias al viento "solano" en el Valle del Guadalquivir asociadas con la sequía de 1605 (HR-1); o al viento del sur, o "viento de la mar", asociadas al invierno lluvioso de 1684 (AU-3), ambos ejemplos ya analizados en secciones previas. Otro ejemplo es la presencia del cierzo y un frío excesivo en Sevilla a mediados de Marzo de 1650 (AU-2). Aunque esta noticia no encuentra correspondencia con noticias similares (anomalías térmicas negativas) en otras partes de la Península, debe admitirse como válida dada la fiabilidad de la fuente (el autor fue testigo presencial del suceso).

El criterio elegido para valorar la intensidad de los vientos ha sido calibrar sus efectos según la escala de Beufort tanto para el observador terrestre como para el observador marítimo (Jansá Guardiola, 1968). En el caso de las informaciones sobre tierra podemos encontrar algunos ejemplos susceptibles de catalogarse como de "viento muy duro" o "temporal", grados 9 y 10 en la escala de Beaufort para el observador terrestre. Estos vientos, que producen desperfectos en las partes salientes y tejados de los edificios, llegando a arrancar árboles en el caso del "temporal", alcanzan velocidades comprendidas aproximadamente entre los 75 y los 100 km/h.

Entre los principales ejemplos encontrados de vientos intensos en tierra, podemos mencionar los casos de Noviembre de 1530, 4 de Octubre de 1590, 21 de Marzo de 1608, 15 de Febrero de 1624, 3 de Octubre de 1649, 8 de Abril de 1663 y 21 de Diciembre de 1695. Todos ellos corresponden a la ciudad de Sevilla y pueden catalogarse según la escala Beaufort en las categorías de viento muy duro o temporal. En estas situaciones se produjeron destrozos en edificios y cosechas a consecuencia de la acción del viento.

La noticia correspondiente al 4 de Octubre de 1590 (AU-3) coincide con riadas que causan estragos y llenan de lodo calles y caminos en Loja (A-1) durante el mes de Octubre. La información correspondiente al 15 de Febrero de 1624 sobre lluvias intensas y vientos que arrancan árboles en Sevilla (AU-2), es coetánea de informaciones sobre mal tiempo en Madrid (AU-1) y en toda la mitad sur de la Península, pues durante este mes de Febrero el rey viajó desde Madrid hasta Sevilla desde el día 8 al 24 y este viaje está suficientemente documentado (AU-3). Este invierno fue muy frío, el río Turia se heló el 30 de Enero, nevó en Sevilla (AU-2) y en Valencia el 31 de Enero y las nevadas continuaron en Cataluña y Alicante durante este mes de Febrero (C-2), indicando una situación de invasión de aire polar continental del NE. Los aguaceros y vientos del 3 de Octubre de 1649 (AU-2) sucedieron a las inundaciones de Málaga del 9 y el 19 de Septiembre del mismo año (C-2). El temporal del 21 de Diciembre de 1695 (AU-3) corresponde a un invierno de inundaciones en Cataluña (C-2).

La información sobre vientos correspondiente a 1530 (AU-3) coincide con noticias sobre fuertes inundaciones marinas en Holanda (HG-3). Estas inundaciones de costas y

estuarios en el Sur de Holanda y partes meridionales de las costas inglesas del Mar del Norte están bien registradas en informes locales oficiales y, según Lamb (1991), la distribución geográfica de las noticias sobre la inundación es consistente con la existencia de una tormenta generalizada en el Mar del Norte. La interpretación de este autor es de una fuerte tormenta con vientos de componente norte al sur de los 52° norte. En Abril de 1663 se produjeron tormentas al nordeste de Escocia, con dirección del viento probablemente del Norte (Lamb, 1991). En su estudio sobre las tormentas en el Atlántico Norte y costas adyacentes, Lamb (1991) establece para el periodo 1570-1725 un predominio de vientos de componente norte, relacionado con un debilitamiento de los vientos de componente oeste en las latitudes alrededor de los 50°N. Esta situación de ruptura de la corriente zonal facilita la aparición de temporales de lluvia y viento en latitudes más al sur, como es el caso de Andalucía (Capel Molina, 1977).

Todos estos ejemplos corresponden a situaciones de índice pluviométrico negativo en Suiza (Pfister, 1981), lo cual puede atribuirse a una situación anticiclónica en Europa Central y puede estar relacionado con la ausencia de informaciones sobre tormentas y lluvias intensas en Italia (Camuffo y Enzi, 1992; Pavese et al., 1992).

La información sobre tormentas en el mar aparece en las fuentes históricas como consecuencia de su impacto en el desarrollo de campañas navales, viajes reales, rutas comerciales, etc. Noticias sobre naufragios, barcos desviados de ruta o refugiados en puerto, informan con mayor o menor grado de detalle sobre la intensidad y dirección de los vientos, y, en general, sobre las condiciones climáticas, ya fueran adversas, ya favorables, para la navegación. Un ejemplo de gran interés, por su ubicación cronológica, es la tormenta, provocada por una fuerte borrasca que atravesó Andalucía en dirección Oeste-Este, que causó la desaparición de la Armada española el 19 de Octubre de 1562 en las proximidades de La Herradura, en la costa mediterránea andaluza (Rodrigo, 1994); en el Apéndice V se ofrece un análisis pormenorizado del, como ejemplo de este tipo de estudios y su interés paleoclimático. El año 1562 se caracteriza en el Mediterráneo Occidental por las siguientes características:

- Primavera con borrascas y mal tiempo (Nápoles, Sicilia).
- Adelanto de las situaciones típicas del otoño a la segunda mitad de Agosto

(Cartagena) con lluvias y mal tiempo en el Norte de Africa.

- Tormentas de viento en Andalucía en Septiembre (Sevilla) y Octubre (La Herradura, Marquesado del Zenete).

- Mal tiempo, frío y lluvia en el mes de Noviembre en el Sur de la Península Ibérica (Vélez-Málaga) y en las costas de Italia (Nápoles).

Estas características, unidas a la trayectoria de la depresión, de Oeste a Este, atravesando Andalucía (situada entre los paralelos 36° y 38°44'N), informan sobre una situación propia de la época fría, de vórtice circumpolar extendido, con la particularidad de que la estación fría resultó ser este año más prolongada que en la actualidad. Este resultado coincide con los resultados de Lamb (1977), según el cual, las consecuencias de la expansión del vórtice circumpolar en la "Pequeña Edad de Hielo" fueron el desplazamiento de las trayectorias más frecuentes de las depresiones a latitudes algo más al sur que en otras épocas, así como la frecuente humedad de los inviernos en partes del Mediterráneo y del norte de Africa. De hecho, Lamb establece la década de los 60 del siglo XVI como uno de los momentos de mayor "shock" climático de este periodo. Según Font Tullot (1988), a partir de 1560, los fríos se agudizan y generalizan, manteniéndose hasta el final de la Pequeña Edad de Hielo.

5.3. Tipos de tiempo y circulación general.

Los ejemplos mostrados en la sección anterior permiten establecer la interpretación de los valores de los índices en términos de los tipos de tiempo. En lo que sigue nos centraremos en las anomalías pluviométricas, que, como hemos visto, son las más significativas en el clima andaluz. En general, los valores positivos del índice pluviométrico pueden asignarse a tipos de tiempo ciclónicos, mientras que los valores negativos pueden asignarse a tipos de tiempo anticiclónicos. En el caso del verano y comienzos del otoño podemos suponer actividad convectiva en el caso de índice positivo, y situación estival anticiclónica en caso de índice nulo. En las situaciones ciclónicas las circunstancias barométricas y dinámicas tienden a asociarse al desarrollo de una inestabilidad más o menos generalizada, con presencia de condensaciones, nubosidad, precipitación, etc. En las situaciones anticiclónicas las condiciones barométricas y dinámicas inducen un estado de estabilidad caracterizado por falta de nubosidad y precipitaciones (Castillo Requena, 1989).

Debido a su posición latitudinal, el clima de Andalucía depende de procesos que juegan su papel en la alta troposfera. Es conocida la actividad del frente polar en latitudes medias, asociado a los arrastres zonales de las borrascas o a los meandros con advección en altura de gotas frías procedentes del Norte (García de Pedraza, 1986). De hecho, las manifestaciones más sobresalientes de perturbaciones climatológicas están asociadas a las desviaciones de circulaciones atmosféricas zonales como las corrientes en chorro (Palomares Casado, 1983). La mayoría de los sistemas en escala sinóptica en latitudes medias se desarrollan como resultado de la inestabilidad del flujo de la corriente en chorro. Esta inestabilidad tiende a producirse en la región de la zona frontal (Holton, 1990).

Cambios bruscos del tiempo y situaciones anómalas dentro de la distribución normal están asociados al desplazamiento hacia el norte de áreas anticiclónicas cálidas o bien al desplazamiento hacia el sur de vórtices cerrados fríos. Estas situaciones responden a lo que podemos denominar "ruptura de la corriente zonal" (Capel Molina, 1977). Si bien la Península Ibérica no se encuentra en un área afectada directamente por el chorro polar, queda bajo la influencia de los vórtices ciclónicos que se desprenden al sur de la corriente en chorro, y su espacio sinóptico queda surcado por bifurcaciones o desprendimientos de la

corriente principal que, en rápidos desplazamientos, se dirigen de norte a sur. A continuación, partiendo de los ejemplos de la sección anterior, mostramos la situación en altura correspondiente a las principales anomalías detectadas.

En la Figura V.3.1 se muestra la topografía de la superficie de 300 hPa correspondiente a las 12 h T.M.G. del 27 de Febrero de 1993, situación típica de advección del NW, causante de olas de frío en Andalucía. Puede apreciarse la presencia de un anticiclón de eje orientado a lo largo de la fachada marítima de Europa Occidental. Una situación similar, asociada en este caso a la presencia de una sequía en la región, se observa en la Figura V.3.2 correspondiente a las 12 h T.M.G. del 28 de Noviembre de 1988. Los periodos de sequía típicos de la primavera corresponden a esta situación de circulación en "omega" (Capel Molina, 1977).

Las situaciones de sequía en la Península Ibérica están asociadas principalmente al desarrollo del cinturón de altas subtropicales, con contracción hacia el norte del vórtice circumpolar y flujo zonal del Oeste al norte de la Península (Font Tullot, 1989). Una situación de este tipo puede observarse en la Figura V.3.3, correspondiente a la topografía de la superficie de 300 hPa a las 12 h T.M.G. del 8 de Enero de 1993. No obstante, ya hemos visto que una circulación tipo "omega" puede ser responsable de las sequías primaverales, que son las de mayor importancia en nuestro registro. El predominio de las precipitaciones, sobre todo entre mediados del siglo XVI y mediados del XVII, aunque alternando con fases más secas, debe interpretarse por tanto como una consecuencia de la mayor frecuencia de situaciones de ruptura de la circulación zonal, tal y como muestran los ejemplos modernos utilizados.

Las situaciones de lluvias intensas de origen atlántico y vientos fuertes del SW están asociadas a un desplazamiento hacia el sur del vórtice circumpolar. La circulación en altura puede ser una situación en "rombo", caracterizada por un anticiclón situado sobre las Islas Británicas y una baja sobre la Península Ibérica, con una bifurcación de la corriente zonal en dos ramales, uno dirigido al NE y otro al SE; o bien una vaguada profunda que se extiende por el Atlántico Norte desde el Mar de Noruega hasta las Azores. Andalucía, la Península Ibérica y la fachada occidental de Europa quedan sometidas al ramal ascendente

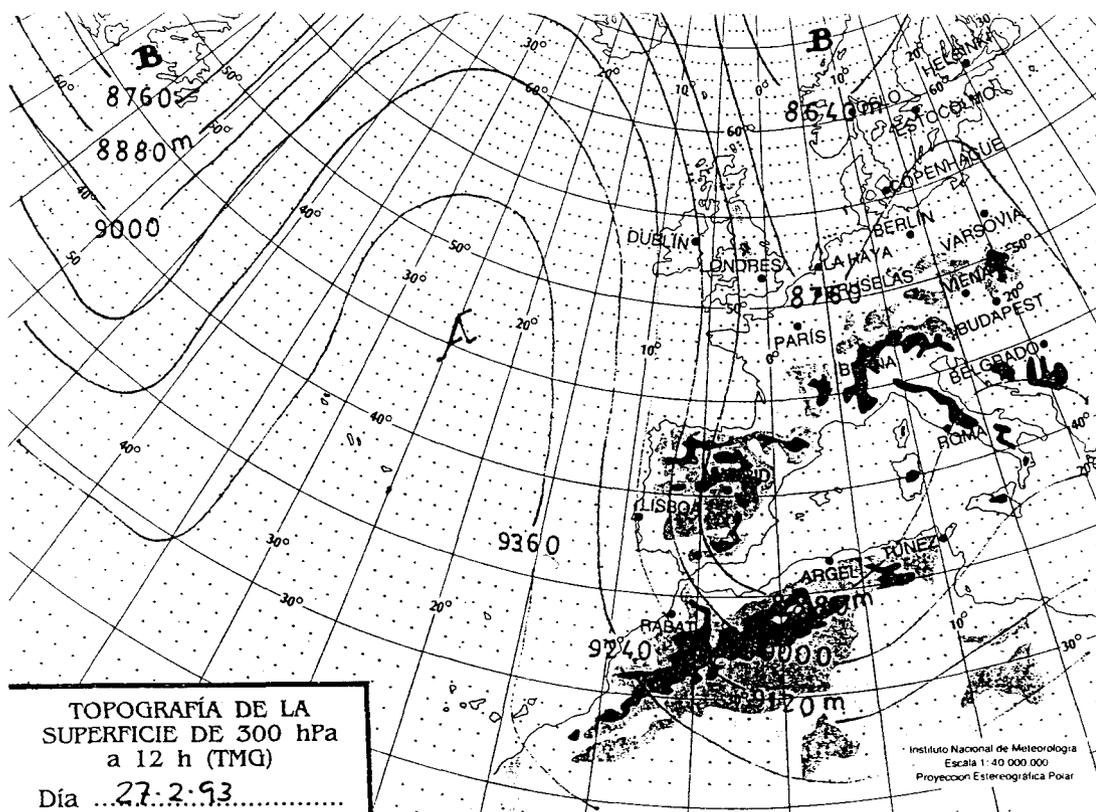


Figura V.3.1. Topografía de la superficie de 300 hPa correspondiente a las 12 h T.M.G. del 27 de Febrero de 1993, advección de aire polar marítimo del NW (Boletín Meteorológico Diario, 28.02.1993, INM).

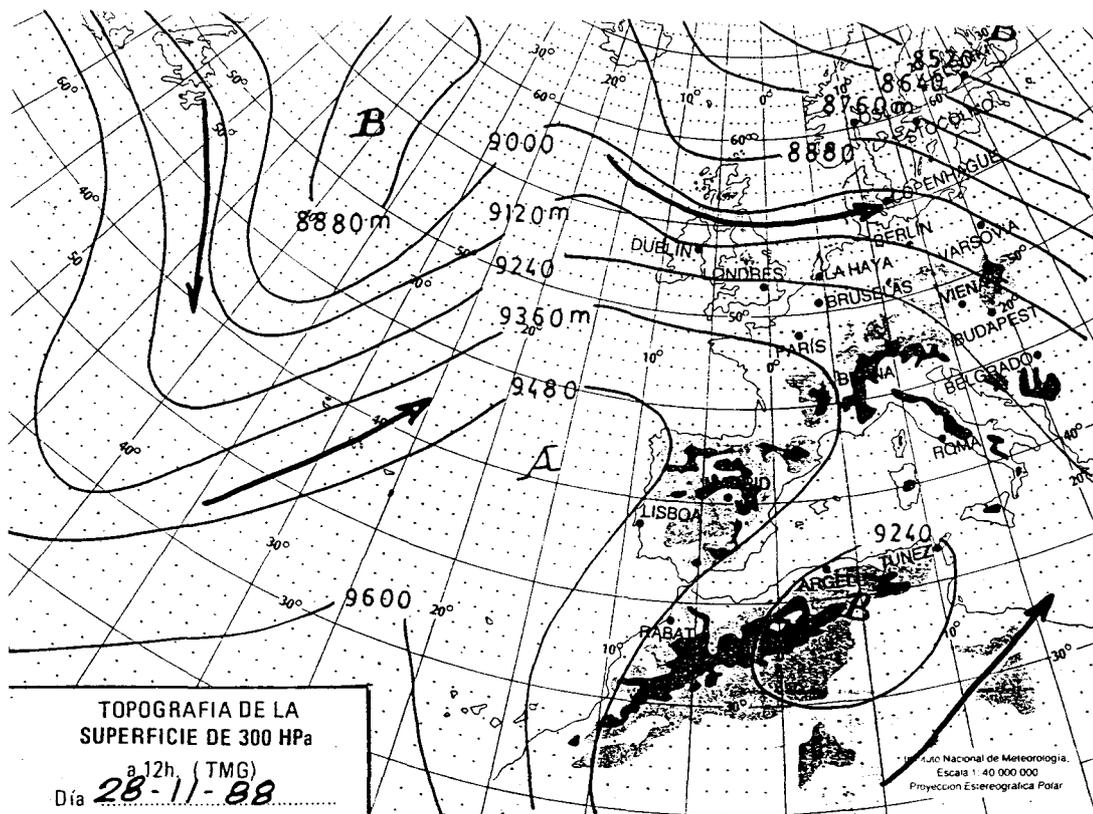


Figura V.3.2. Topografía de la superficie de 300 hPa correspondiente a las 12 h T.M.G. del 28 de Noviembre de 1988, tiempo seco y circulación en "omega" (Boletín Meteorológico Diario, 29.11.1988, INM).

de la vaguada o al flanco oriental de la depresión (Castillo Requena, 1989). Ejemplos característicos de estas situaciones se muestran en las Figuras V.3.4 y V.3.5, correspondientes a la topografía de la superficie de 300 hPa a las 12 h T.M.G. del 19 de Noviembre de 1989 y el 16 de Octubre de 1992, respectivamente.

Estas expansiones del vórtice circumpolar están asociadas a profundas ondulaciones del chorro polar, en un régimen de circulación muy lenta sobre el Atlántico. En ocasiones, una depresión puede desprenderse de los Ponientes que circulan a latitudes superiores formando una gota fría en altura, característica de una circulación muy lenta, de tipo celular (Llasat y Puigcerver, 1986). Es el caso mostrado en la Figura V.3.6, topografía de la superficie de 300 hPa a las 12 h T.M.G. del 4 de Mayo de 1993, situación de lluvias intensas mediterráneas con gota fría penetrando por la vía sur (Castillo Requena, 1981).

En la búsqueda de una explicación física para las perturbaciones meteorológicas a escala sinóptica, encontramos que la componente vertical de la vorticidad relativa ζ tiende a presentar valores positivos elevados en asociación con las tormentas ciclónicas del Hemisferio Norte, mostrando un alto grado de correlación con las perturbaciones meteorológicas a escala sinóptica (Holton, 1990). En la atmósfera, el flujo a gran escala es quasi-horizontal, con la velocidad horizontal varios órdenes de magnitud mayor que la velocidad vertical, asimetría que vuelve a la componente vertical de la vorticidad como la más relevante, ya que $\zeta = \text{rot } c$. En las perturbaciones a escala sinóptica el mecanismo más importante es la variación de la vorticidad por divergencia horizontal. La ecuación de vorticidad, aplicable al chorro polar y despreciando los efectos de fricción, es (Peixoto y Oort, 1992)

$$\frac{d(\zeta+f)}{dt} = -(\zeta+f) \nabla \cdot V$$

donde $f=2\Omega \text{sen}\phi$ es el parámetro de Coriolis y V la velocidad horizontal. El término de la divergencia expresa los cambios en la vorticidad debidos a cambios en la densidad del fluido. Si es positivo, el fluido se expande y la vorticidad disminuye (anticiclogénesis); si es negativo y el fluido se contrae, la vorticidad aumenta (ciclogénesis). El análisis de escala de la ecuación de vorticidad indica que los movimientos a escala sinóptica deben ser quasi de

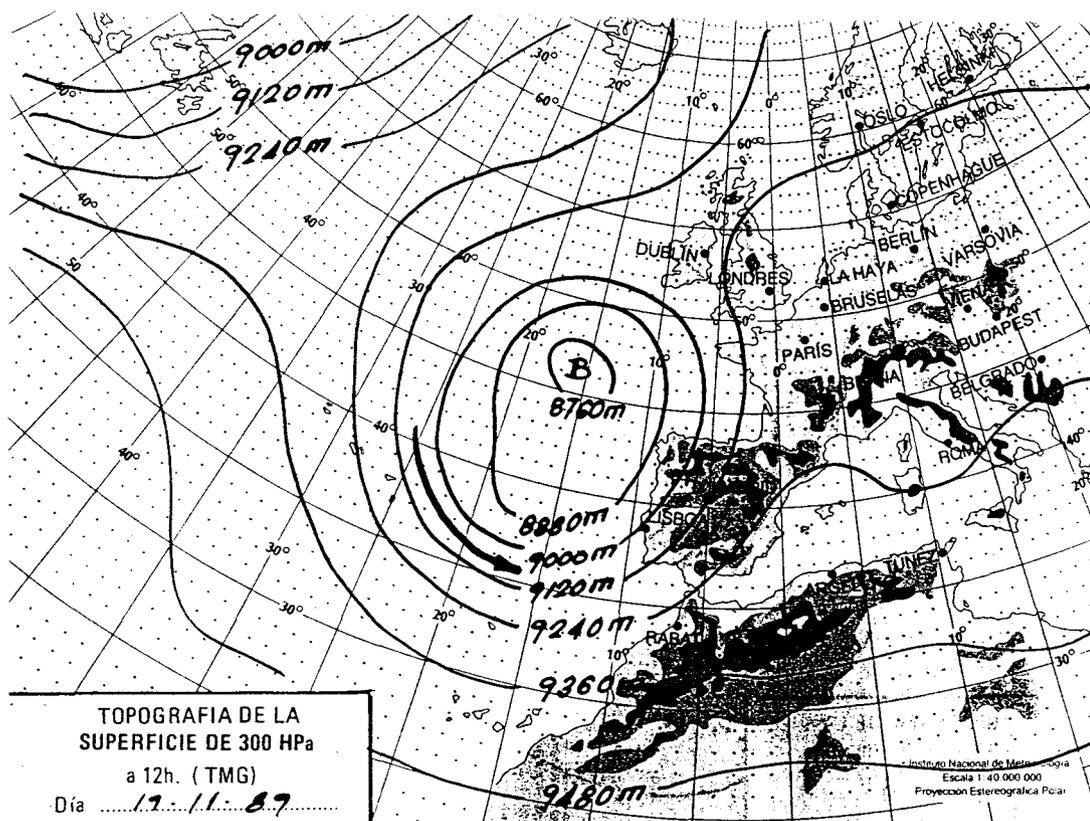


Figura V.3.4. Topografía de la superficie de 300 hPa correspondiente a las 12 h T.M.G. del 19 de Noviembre de 1989, con vaguada profunda extendiéndose por el Atlántico Norte y fuertes lluvias (Boletín Meteorológico Diario, 20.11.1989, INM).

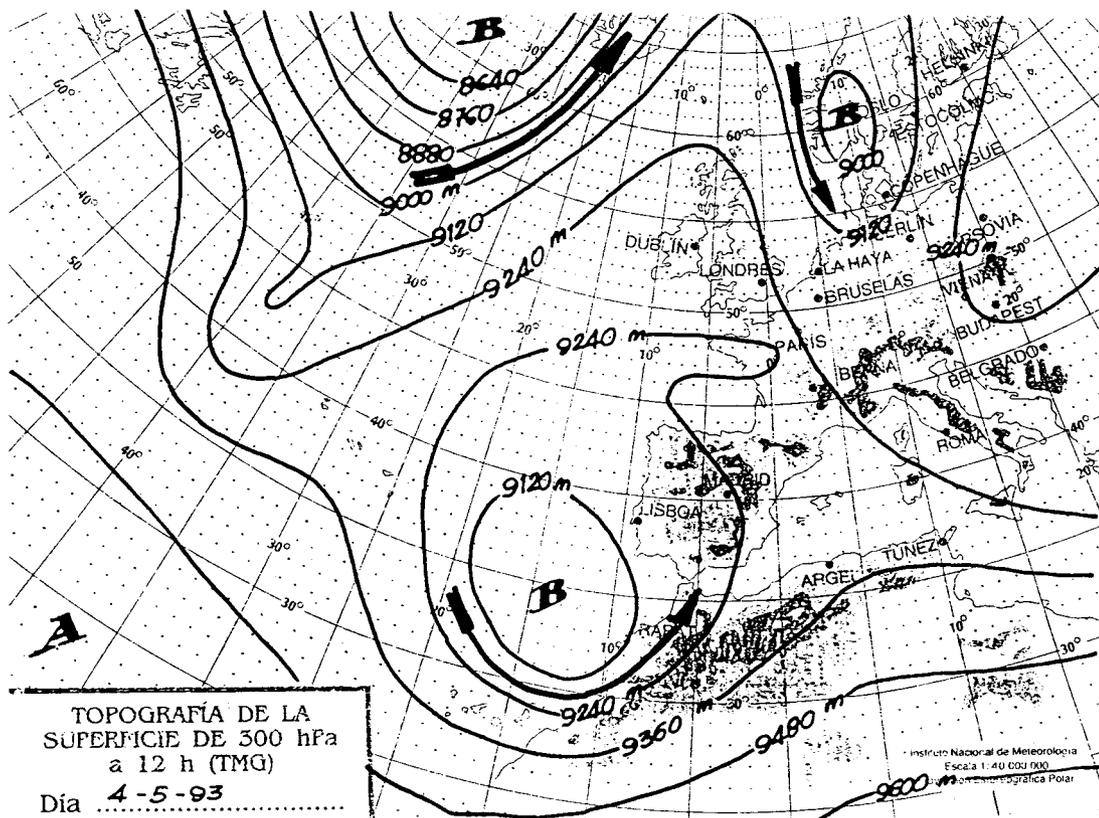


Figura V.3.6. Topografía de la superficie de 300 hPa correspondiente a las 12 h T.M.G. del 4 de Mayo de 1993, gota fría en altura y fuertes lluvias (Boletín Meteorológico Diario, 05.05.1993. INM).

divergencia nula (Holton, 1990), por lo que podemos escribir

$$\frac{d(\zeta+f)}{dt} = 0$$

y la vorticidad absoluta se conserva. Quiere esto decir que si la partícula de fluido se somete a un desplazamiento meridiano, la vorticidad de la perturbación inducida será positiva (ciclónica) cuando el desplazamiento es hacia el sur y negativa (anticiclónica) cuando el desplazamiento es hacia el norte. El desplazamiento de la corriente en chorro hacia el Sur en la época de estudio explicaría por tanto la mayor frecuencia de tormentas en el Atlántico Norte (Lamb, 1991), así como las frecuentes perturbaciones que afectaron al régimen de precipitaciones en Andalucía.

Estos movimientos latitudinales, debido a la variación de la fuerza de Coriolis con la latitud, se propagan hacia el oeste en forma de ondas. La propagación hacia el oeste del campo de vorticidad en forma de estas ondas de Rossby u ondas planetarias es el tipo de onda más importante en los procesos meteorológicos de gran escala (Holton, 1990). Considerando un flujo totalmente horizontal y la conservación de la componente vertical de la vorticidad absoluta, y suponiendo una pequeña perturbación horizontal de la velocidad zonal del estado básico, se obtiene la ecuación de ondas para la función de corriente de la perturbación. La velocidad de fase zonal relativa al viento medio viene dada por

$$c_x - \bar{u} = -\frac{\beta}{k^2 + l^2}$$

donde $\beta = df/dy$ y se considera constante, k es el número de ondas zonal y l el número de ondas meridiano. La onda de Rossby se propaga hacia el oeste con una velocidad zonal que depende de k y l , es, por tanto, una onda dispersiva, cuya velocidad aumenta con la longitud de onda. El número de ondas zonal k indica el número de ondas a lo largo de un círculo de latitud, de modo que las ondas largas corresponden a bajos valores de k ($1 \leq k \leq 5$) y las ondas cortas a altos valores de k ($k \geq 11$). Por otra parte, la naturaleza ondulatoria de la distribución de las variables meteorológicas y el carácter en forma de onda del flujo, justifica desde una perspectiva teórica el uso del análisis espectral como el método más adecuado y natural para estudiar la circulación general de la atmósfera, tanto en el dominio de la frecuencia-tiempo, como en el del número de ondas-espacio (Peixoto y Oort, 1992).

Las perturbaciones en el flujo zonal básico en la época histórica, al propagarse hacia el sur, aumentaban el valor de k , disminuyendo la longitud de onda y, en consecuencia, disminuyendo la velocidad de fase. Esto provocaría la mayor persistencia de situaciones de bloqueo (como las sequías, por ejemplo) y de la frecuencia del paso de frentes por la latitud de Andalucía, dando lugar a prolongados periodos de lluvias, causantes de la mayoría de las inundaciones provocadas en la Cuenca del Guadalquivir. Según Lamb (1977), el aumento de la variabilidad interanual e interdécada de la temperatura en Europa durante la fase principal de la Pequeña Edad de Hielo, es característico de un régimen con frecuentes situaciones de bloqueo en latitudes medias. Al extenderse el vórtice circumpolar hacia el Sur y disminuir el número de ondas, pueden alternar dorsales cálidas con vaguadas frías a nivel continental, lo que puede significar, paradójicamente, que una de estas dorsales cálidas produzca localmente situaciones cálidas y secas (Le Roy Ladurie, 1983). La variabilidad geográfica de las anomalías climáticas en la época de estudio es tal que no puede afirmarse la existencia de un periodo frío, prolongado y sincrónico en diferentes partes del mundo, por lo que el término "Pequeña Edad de Hielo" ha de usarse con cautela (Jones y Bradley, 1992a).

El desplazamiento hacia el sur de la corriente en chorro asociado a las principales anomalías detectadas indica un vórtice circumpolar expandido, lo cual provocaría un desplazamiento algo más al sur de su latitud habitual de las trayectorias de las depresiones. Según Lamb (1977), esto produciría mayor humedad en los inviernos de las regiones mediterráneas y del norte de Africa.

El momento angular total de la atmósfera sólo puede cambiar a través de la acción de la fricción y los efectos topográficos, ya que los momentos exteriores debidos a la fuerza gravitacional de la Luna y otros planetas, el viento solar y las fuerzas electromagnéticas pueden considerarse muy pequeños y prácticamente despreciables. Por tanto, considerando el movimiento del chorro polar como libre de fricciones, y dada la altura de la tropopausa, por encima de las barreras orográficas, podemos considerar el momento angular como constante. La expresión del momento angular de la atmósfera, considerando que su espesor es muy pequeño comparado con el radio medio de la Tierra R , es (Peixoto y Oort, 1992)

$$M = \Omega R^2 \cos^2 \phi + u R \cos \phi$$

donde u es la componente zonal del viento. En el segundo miembro, el primer término se refiere al momento angular de una atmósfera que gira solidariamente con la Tierra, y el segundo es el momento angular de la atmósfera respecto a la Tierra en rotación. Un desplazamiento hacia el sur de una partícula de fluido supone una disminución de la latitud ϕ , y, en consecuencia, para mantener constante M , u debe disminuir. La conservación del momento angular es pues coherente con el análisis de las variaciones de la vorticidad y las oscilaciones planetarias. La disminución de la corriente zonal o el aumento de la circulación meridional sería, por tanto, la principal característica de la circulación asociada con las principales anomalías pluviométricas detectadas en el registro histórico.

Una medida adecuada para caracterizar el tipo de circulación sobre una cierta área geográfica es el denominado índice zonal (Makrogiannis et al., 1991), definido como la diferencia de presión media entre las latitudes 35°N y 55°N . Esta diferencia de presión es aproximadamente proporcional a la componente media del viento dentro de esta zona, ya que está relacionado con el gradiente de presión horizontal entre ambas latitudes. Un índice alto indica fuertes vientos del oeste y débil flujo meridional en latitudes medias. Un índice bajo indica débiles vientos del oeste y fuerte flujo meridional. Los bajos valores del índice están asociados a inviernos inusualmente fríos en Europa (Makrogiannis et al., 1991).

Si se acepta que la mayor parte del Atlántico Norte está ocupada por los centros de acción semipermanentes del anticiclón de las Azores y la baja de Islandia, entonces la distribución de presiones sobre el océano, el valor del índice zonal y consecuentemente, la circulación atmosférica, serán función de la posición y presión central de los centros (Sahsamanoglou, 1990). Dada la posición latitudinal de Andalucía, en torno a los 37°N , y su situación geográfica, sobre todo en el caso de la región SW, el régimen pluviométrico estará gobernado durante gran parte del año por el comportamiento del anticiclón de las Azores. (Capel Molina, 1977). En la época cálida el anticiclón de las Azores se desplaza hacia el Norte y hacia el Este, afectando a la Península, como consecuencia del predominio de la circulación zonal. En la época fría se desplaza hacia el Sur y el Oeste, permitiendo la irrupción de las depresiones de tipo atlántico, como consecuencia del predominio de la

circulación meridional o zonal baja. Los valores nulos del índice en verano y las fluctuaciones en el resto de las estaciones indican, por tanto, una situación dominada por el comportamiento del anticiclón de las Azores.

Surge así una nueva interpretación del valor del índice pluviométrico, como reflejo de las variaciones de la presión central y la posición del anticiclón de las Azores. Un valor positivo del índice, asociado a fuertes lluvias, indica bajos valores de la presión y situación desviada hacia el sur del anticiclón, mientras que los valores negativos del índice, excepto en verano, cuando no se trata de sequías provocadas por un fuerte anticiclón centrado en Europa, prolongación del siberiano, indican un mayor valor de la presión y situación latitudinal más al norte. En consecuencia, las similitudes encontradas en el capítulo anterior entre las periodicidades del régimen de precipitaciones y las del anticiclón de las Azores presentan una clara correspondencia. Además, el hecho de que el pico de ~ 3.5 años sea el único común a las regiones SW y M refuerza esta conclusión.

Por otro lado, teniendo en cuenta la relación del anticiclón de las Azores con el índice zonal, un bajo valor de la presión en los 35°N supone un índice zonal bajo o incluso negativo (a igualdad del valor de la presión en los 55°N), es decir, circulación meridional, podemos interpretar los valores positivos de nuestro índice pluviométrico como indicativos de circulación predominantemente meridional, y los valores nulos o negativos como predominio de circulación zonal en latitudes medias. La pulsación bianual detectada en nuestros datos aparece también en estudios sobre el valor del índice zonal sobre Europa a una altura de 500 mb desde 1943 (Lamb, 1977).

Hasta aquí lo que podemos denominar la explicación "meteorológica" de las anomalías más características de la época en estudio. El clima, sin embargo, se define a partir de las condiciones medias de las variables meteorológicas que caracterizan el estado de la atmósfera y los océanos, las cuales son altamente variables en el tiempo y en el espacio. La comprensión de la circulación general de la atmósfera requiere el estudio de las estadísticas de las variables meteorológicas, tanto en el dominio del espacio como en el del tiempo (Peixoto y Oort, 1992). Este estudio ha permitido caracterizar desde un punto de vista dinámico las características generales de los sucesos más representativos del clima de la

época en estudio, pero las fluctuaciones en el transcurso del tiempo y las características generales desde el punto de vista climático aún no han sido explicadas. Un estudio climático adecuado supone integrar en un esquema de explicación las diferentes interacciones entre los diversos subsistemas que componen el sistema climático, así como la acción de los factores externos que pueden modificarlo. A ello dedicamos la siguiente sección.

5.4. Causas de variabilidad climática en la época de estudio.

5.4.1. Introducción.

Entendemos como variación climática las diferencias entre los estados climáticos sobre escalas temporales mensuales, estacionales, anuales o inter-décadas. El concepto de "cambio climático", en este contexto, se restringe a desplazamientos en el clima normal como consecuencia de algún factor conocido (o potencialmente cognoscible) que dura muchos años (Berger, 1991). Así, los sucesos de un año a otro, tales como conjuntos de años de condiciones extremadamente secas o húmedas, son variaciones climáticas si están comprendidos dentro de las desviaciones estadísticas esperadas alrededor de un clima "normal", y hablaremos de cambio climático cuando encontremos diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones de un periodo y otro.

La aplicación del test t de diferencia entre las medias nos permitió en el capítulo anterior distinguir para Andalucía dos situaciones de cambio climático, a mediados de los siglos XVI y XVII. Las fluctuaciones encontradas dentro de cada uno de los subperiodos detectados, con alternancia de fases más secas y más húmedas a escala temporal más corta, según este esquema, se catalogarían como variaciones climáticas.

Según Mitchell (1976) las fuentes potenciales de variabilidad climática pueden clasificarse en dos grandes grupos:

a) Mecanismos estocásticos internos. Procesos internos al sistema climático, que implican interacciones entre los distintos componentes del mismo (atmósfera, océano, criosfera, biosfera, litosfera), y son básicamente procesos "probabilísticos" en el tiempo, más que deterministas.

b) Mecanismos causales externos. Procesos externos al sistema climático, al que fuerzan a cambios cuya aparición es independiente del estado inicial del sistema. Las variaciones del clima forzadas por estos procesos son deterministas y, en algún modo, predecibles.

Habría un tercer grupo de procesos, que comprendería todos aquellos que impliquen alguna forma de resonancia entre los modos internos del sistema climático y los agentes externos. En la medida en que estos procesos no se originarían de no existir alguna causa externa, estos procesos se incluyen en el grupo b).

Mitchell (1976) presenta un espectro idealizado de variabilidad climática que cubre todos los periodos de cambio desde aquéllos comparables con la edad de la Tierra (4×10^9 años) hasta la variabilidad meteorológica a pequeña escala, del orden de 1 hora (10^4 años). En este espectro, los procesos de escalas temporales sustancialmente más cortas que la escala temporal de interés, solamente añaden "ruido blanco" a las variaciones del clima. Así, los fenómenos meteorológicos de escala sinóptica, cuya escala temporal típica es del orden de unos pocos días (Lorenz, 1976), simplemente añadirían ruido blanco a la variabilidad climática detectada en el análisis espectral realizado en el anterior capítulo, donde la escala temporal es del orden de varios años o décadas. Por tanto, los picos detectados deben corresponder a mecanismos de una escala temporal comprendida entre la variabilidad inter-anual y entre-siglos.

Las escalas temporales para los diversos componentes del sistema climático varían ampliamente de un subsistema a otro, e incluso dentro de un mismo subsistema. Las características y el comportamiento físico de los diversos subsistemas que forman un sistema compuesto pueden diferir sustancialmente en el espacio y en el tiempo. Entonces es conveniente considerar separadamente cada subsistema o combinación de subsistemas con similares (pero no idénticos) comportamientos, es decir, con similares escalas de tiempo. Estos forman el sistema "interno" embebido en un sistema "externo", consistente en el resto de los subsistemas y en el medio. En general, admitimos que la escala de tiempo que caracteriza el comportamiento del sistema externo es mucho mayor que la del interno, de modo que el sistema externo puede considerarse estacionario. A través de las condiciones de contorno, el sistema externo puede influir en el comportamiento del sistema interno conduciendo a un ajuste forzado de las propiedades de éste, en lo que hemos denominado mecanismos causales externos. La evolución "libre" del sistema interno, es decir, sin la intervención de agentes externos, mediante las relaciones entre los diversos subsistemas que lo forman, es lo que hemos denominado "mecanismos estocásticos internos" (Peixoto y Oort,

1992).

En nuestro caso, para escalas temporales de meses a siglos, el sistema climático interno debe incluir a la atmósfera y los océanos, así como a la capa de nieve, el hielo marino y la biosfera. Entre los diferentes mecanismos externos referidos en la bibliografía (Kutzbach, 1976; Mitchell, 1976; Lamb, 1977), los de particular interés en la escala temporal en la que trabajamos son aquéllos relacionados con la variabilidad solar a largo plazo (superior al ciclo anual), y la actividad volcánica. Las relaciones entre la atmósfera, el océano y la criosfera, conforman los posibles mecanismos estocásticos internos.

5.4.2. Variabilidad solar.

Ya que el Sol es la fuente de energía en los procesos climáticos naturales, la idea de que es el origen de las variaciones climáticas, algunas de las cuales pueden ser cíclicas, es obvia. Si hay alguna influencia de la variación solar en el clima es preciso establecer cuánto varía la constante solar, las características de esta variación y los mecanismos por los cuales las variaciones conocidas en la actividad solar afectarían a la baja atmósfera (Lamb, 1977).

Un cambio en la irradiancia solar de un X % causaría un cambio en la temperatura media superficial de un 1.2X %. Puesto que cambios en la temperatura media superficial de sólo 0.5 K han caracterizado significativos cambios climáticos, variaciones en la irradiancia solar de unas pocas décimas porcentuales resultarían en importantes desviaciones climáticas (Pollack, 1979).

Las observaciones directas no tenían hasta la llegada de los satélites una exactitud suficientemente buena para determinar fluctuaciones significativas en el valor de la constante solar en la escala temporal que nos interesa, y, de momento, las medidas fiables de la irradiancia solar no poseen una base temporal suficientemente larga como para obtener resultados fiables. Un método alternativo consiste en contabilizar el número anual medio de manchas solares, así como en el análisis de su estructura, con el objeto de obtener series a largo plazo (Brown y Price, 1984). Otros índices de actividad solar son la frecuencia de auroras, la forma de la corona solar y el ritmo de producción de ^{14}C detectado en anillos de árboles, relacionados con el flujo de rayos cósmicos o partículas cargadas procedentes del

sol.

La hipótesis básica es que una mayor actividad solar inducirá un clima más cálido, y una baja actividad solar dará lugar a inviernos severos. Las periodicidades encontradas en la actividad solar de alrededor de 11 años (Eddy, 1976, 1977) y 80 años, el denominado periodo Gleissberg relativo a la longitud del ciclo de manchas solares (Friis-Christensen y Lassen, 1991), han intentado correlacionarse en numerosos estudios con resultados similares encontrados en las variables climáticas (Pittock, 1978; 1983).

Existen varios problemas relacionados con este tema. En primer lugar, se desconocen los mecanismos físicos que conectan la actividad solar, asociada al campo magnético solar, con los procesos nucleares internos del sol y/o con los procesos físicos en la zona convectiva solar, que es quien gobierna el transporte de radiación a la fotosfera (Schröder y Treder, 1993). En segundo lugar, y, como ya hemos comentado, no hay medidas fiables y/o suficientemente largas de la constante solar como para cubrir la longitud de un ciclo solar. En tercer lugar, no se conocen los posibles mecanismos físicos que vincularían una hipotética variación de la constante solar con el clima troposférico (Pittock, 1978). Se han propuesto algunas soluciones a este problema, relativas a la posible influencia del pico de 11 años en la altura de la tropopausa tropical, a las relaciones entre el flujo solar ultravioleta y la cantidad y distribución vertical del ozono estratosférico, a la modulación de la reflexión y absorción de la energía de ondas planetarias troposféricas por variaciones inducidas por el sol en vientos y perfiles de temperatura estratosféricos, e incluso relacionándolo con los fenómenos de electricidad atmosférica (Pittock, 1983). Sin embargo, los aspectos teóricos en este campo se encuentran todavía en un estado muy rudimentario de desarrollo (Gilliland, 1982) y todavía no se ha establecido el mecanismo físico que vincule variabilidad solar con cambio climático (Friis-Christensen y Lassen, 1991). Por último, aunque se han encontrado correlaciones estadísticamente significativas entre ciclos solares y variaciones climáticas (Gunn, 1991), estas relaciones difieren claramente entre diferentes regiones, por lo que las generalizaciones están injustificadas (Lamb, 1977). Así, por ejemplo, Schönwiese (1978) no encuentra correlación entre los ciclos de manchas solares y ciclos de temperaturas medias en Inglaterra Central de longitud inferior a 30 años, para el periodo 1660-1975.

El debate sobre el posible impacto de la actividad solar en el clima se ha centrado últimamente en el denominado "Mínimo Maunder" de actividad solar, que coincidiría en Europa con la parte más fría de la Pequeña Edad de Hielo, entre 1645 y 1715 (Reid, 1993). Incluso algunos autores llegan a dudar de la existencia de este mínimo, aduciendo que está mal documentada (Schröder y Treder, 1993). Silverman (1993) aporta suficiente información como para refutar esta objeción, indicando que el desacuerdo afecta más a la naturaleza del mínimo que a su existencia. Así, la "ausencia" de manchas solares durante el periodo 1645-1715 debería considerarse mejor como un prolongado mínimo, cuya fase principal debería situarse entre 1670 y 1703. La duración de los picos solares estaría comprendida entre 15 y 19 años, indicando así que las periodicidades del ciclo solar no son las mismas a lo largo del tiempo, aunque estas diferencias con respecto al ciclo de 11 años, o al ciclo Hale de 22 años, según este autor, pueden surgir de los diferentes métodos de análisis espectral utilizados en el cálculo. El debate, pues, está centrado en la posible influencia de la variabilidad solar en el clima, y, en concreto, del Mínimo Maunder en la Pequeña Edad de Hielo.

Según Landsberg (1984) el Mínimo Maunder no afectó al clima de la Pequeña Edad de Hielo. Legrand et al. (1990) concluyen que esta posibilidad es más bien dudosa. Según Stuiver y Braziunas (1992) la varianza climática atribuida a la variabilidad solar es difícil de distinguir y resulta pequeña frente a la varianza asociada a otros factores. Las evidencias de cualquier cambio climático en el periodo 1645-1715 son equívocas y hoy día no es posible relacionar con alguna confianza variaciones climáticas históricas con cambios en la variabilidad solar (Jones y Bradley, 1992). El argumento, quizás, de mayor peso es el esgrimido por Stuiver (1980) en su análisis de los niveles de ^{14}C en anillos de árboles durante el último milenio. Si el Mínimo Maunder está vinculado con la fase fría 1645-1715, entonces otros mínimos de la serie de actividad solar deberían estar relacionados con otras fases frías. Si tal vinculación ciclo solar-clima existiera, sería concebible postular la existencia de hasta 40 Pequeñas Edades de Hielo en el último milenio, y este resultado no se ha encontrado en el análisis de los diferentes datos proxy. Si se aduce que bien pudieron actuar otros factores diferentes que alteraron la respuesta climática, la pregunta inevitable es cuál sería entonces la amplitud de la señal solar frente a las contribuciones de otros mecanismos, que, en principio, también pudieron actuar durante los años del Mínimo Maunder.

Por otro lado, periodos de alta actividad solar estarían vinculados a fases cálidas. El periodo 1570-1640, periodo de alta actividad solar situado entre el Mínimo Spörer y el Mínimo Maunder, sería uno de estos, pero es un periodo que también puede catalogarse como frío.

Del análisis de nuestros datos se obtiene que una fase seca en Andalucía coincide con las fases secas y frías en otras partes de Europa, como Francia (Le Roy Ladurie, 1983) o Inglaterra (Lamb, 1977) en la década de los 1680. Este periodo frío es simultáneo al Mínimo Maunder y se manifestaría en Andalucía con fenómenos asociados a la ruptura de la corriente zonal, como bien pudieron ser la sequía del invierno de 1683, asociada a un potente anticiclón de eje norte-sur centrado en Europa (sección 5.2.3.1), o las inundaciones en Sevilla durante el invierno de 1684 (sección 5.2.3.2). Sin embargo, estas situaciones puntuales no sirven para caracterizar el comportamiento del clima andaluz en las últimas décadas del siglo. De hecho, según nuestros resultados y el análisis de la sección 5.3, la segunda mitad del siglo XVII corresponde a una fase más seca, con dominio de los anticiclones subtropicales sobre nuestra región. No obstante, aún pueden persistir dudas, dado que nuestra serie termina en el año 1700 y no cubre por completo el periodo del Mínimo Maunder, aunque se han encontrado noticias de sequías en Málaga durante los años 1701 y 1711 (A-3), que parecen indicar una prolongación de la situación en los primeros años del siglo XVIII.

En nuestros datos no aparecen en ningún caso periodicidades vinculadas a la actividad solar en torno a los 11, 22 y 80 años (Capítulo IV). La conclusión, por tanto, es que no podemos establecer vinculaciones entre la actividad solar, y en concreto el Mínimo Maunder, y el clima andaluz.

Pittock (1983), basándose en datos relativos a la frecuencia de sequías en el oeste de los Estados Unidos, las temperaturas superficiales en el Este de Norteamérica y las inundaciones en la India en este siglo, establece como hipótesis más plausible de la influencia solar en el clima terrestre la existencia del ciclo lunar-solar de 18.6 años. Aunque reconoce que todavía no se han establecido los mecanismos físicos que expliquen la combinación de las influencias lunares y solares, establece la hipótesis de la influencia en la temperatura de

la superficie del mar de la modulación de las mareas oceánicas llevada a cabo por este ciclo. El mecanismo consistiría en una variación de la difusión turbulenta en la capa oceánica de mezcla.

Este aspecto merece destacarse, teniendo en cuenta la postura crítica de este autor hacia los resultados que vinculan variables climáticas con ciclos solares de 11 y 22 años, por la aparición en nuestros espectros (Andalucía y región SW) de un periodo de 16.6 años, consistente a lo largo del tiempo (Capítulo IV). En la sección 4.7 asociábamos este periodo al efecto luni-solar, basándonos en la similitud entre los valores de los periodos. No obstante, mientras no contemos con un modelo físico que explique tal periodicidad, este resultado debe considerarse como una especulación no concluyente, que exige mayor investigación. La inexistencia de este ciclo en la región M, más distante del Atlántico y separada del Mediterráneo (donde la acción de las mareas es mucho menor que en el Atlántico) por barreras montañosas, apunta a la posibilidad de que la influencia del ciclo luni-solar sea real, y en términos similares a los propuestos por Pittcock (1983), a través de su posible vinculación con la temperatura de la superficie del mar.

5.4.3. Actividad volcánica.

La actividad volcánica produce emisiones gaseosas y de partículas que conducen a la formación de capas persistentes de aerosoles estratosféricos. Por tanto, puede ser un factor climatogénico en todas las escalas temporales. Aunque largos periodos de actividad volcánica creciente o decreciente serían más efectivos, es concebible que una secuencia aislada o aleatoria de erupciones volcánicas produzca un cambio climático (Kutzbach, 1976). La respuesta climática supone un enfriamiento climático general, en escalas de unos cuantos años. En el supuesto de una serie de grandes erupciones, la respuesta climática acumulativa puede contribuir a la variabilidad climática en escalas de tiempo de décadas e incluso mayores. En cualquier caso, el vulcanismo debe entenderse como un caso especial en el que los sucesos individuales ocurren con escasa o sin aparente regularidad. Esta naturaleza episódica hace muy difícil inferir su contribución al espectro de variabilidad climática (Mitchell, 1976).

La magnitud de cualquier efecto climático depende del volumen de material lanzado por el volcán, la altura alcanzada, el patrón de circulación estratosférica y la composición química del gas (Bradley y Jones, 1992b). Detallados modelos teóricos de los efectos radiativos debidos a los diversos componentes de los aerosoles volcánicos sugieren que las partículas constituidas por grupos sulfuro son las más importantes en el cambio del balance radiativo (Gilliland, 1982).

Las nubes de polvo volcánico persistentes (años de permanencia en la estratosfera) están compuestas por partículas cuyos tamaños están comprendidos entre 0.05 y 1 μm (Lacis et al., 1992). El polvo se transporta alrededor del mundo por los vientos superiores y pronto se distribuye uniformemente sobre la zona de vientos hacia la que fue inyectado, tardando entre 2 y 6 semanas en dar la vuelta a la Tierra en latitudes medias y bajas, y haciéndose la nube claramente uniforme sobre toda la zona latitudinal correspondiente a la erupción en unos 4 meses (Lamb, 1977). Así, por ejemplo, la nube de aerosoles provocada por la erupción de El Chichón en México (28 Marzo al 4 de Abril de 1982) dio una vuelta completa al globo terrestre en dirección Este-Oeste entre el 5 y el 25 de Abril, y el grueso de la nube permaneció al sur de los 30°N unos 6 meses (Rampino y Self, 1984). La difusión a otras zonas latitudinales tarda más tiempo, y está relacionada con los sistemas de circulación estratosféricos. Las erupciones producidas en bajas latitudes se difunden gradualmente por toda la Tierra mediante los mecanismos de circulación meridional hasta los 30° de latitud, y mediante los remolinos asociados a los vientos del oeste circumpolares y a las rupturas meridionales del otoño en latitudes superiores. Las erupciones provocadas en altas latitudes difícilmente llegan más allá de los 30° de latitud, manteniendo su concentración entre los 60 y los 90° (Lamb, 1977). Los aerosoles volcánicos tienen una vida media de sólo 1 ó 2 años, y, en consecuencia, para causar un cambio climático en un periodo extenso de tiempo es necesaria una secuencia de explosiones volcánicas que inyecten aerosoles a la estratosfera y estén poco distanciadas en el tiempo (Pollack, 1979). En las mayores erupciones del último siglo, los efectos en las temperaturas medias a gran escala fueron indetectables (es decir, indistinguibles del ruido) después de 2-3 años (Bradley y Jones, 1992b). Las erupciones volcánicas "climáticamente efectivas" producen descensos del orden de 1°C a nivel estacional (Scuderi, 1990; 1992) y del orden de 0.2-0.3°C en la temperatura media anual superficial hemisférica para los dos años que siguen a la erupción (Pyle, 1992; Scuderi, 1992).

El efecto radiativo de la nube de aerosoles volcánicos consiste en la reducción de la radiación solar directa que llega a la superficie terrestre, siendo esta reducción en algunos casos del orden del 20 al 30% (Lamb, 1977). Según la ley de Beer-Bouguer-Lambert la transmitancia atmosférica, que expresa el cambio en la intensidad de la radiación debido a mecanismos de absorción y dispersión, viene dada por (Peixoto y Ort, 1992)

$$\tau_{\lambda} = \frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda 0}} = \exp \left(- \int_0^{\infty} k_{\lambda} \rho ds \right)$$

donde I_{λ} es la intensidad de la radiación después de atravesar una columna de aerosol, k_{λ} es el denominado coeficiente de extinción, que tiene en cuenta los efectos de absorción y dispersión, ρ es la densidad del medio, y ds la longitud de la columna atmosférica ocupada por los aerosoles. La integral es lo que se conoce como espesor óptico, cuyo valor en condiciones atmosféricas normales es mucho menor que 1, y para nubes oscuras o muy gruesas puede ser mucho mayor que 1. El efecto radiativo es función de la longitud de onda λ incidente, lo cual determina el importante papel del tamaño de las partículas de aerosol. Partículas muy pequeñas ($r < 0.05 \mu\text{m}$) y grandes partículas ($r > 1 \mu\text{m}$) causarían calentamiento, mientras que partículas de tamaño intermedio ($0.5 \leq r \leq 1 \mu\text{m}$) causan enfriamiento (Lacis et al., 1992) pues absorben la radiación directa en el visible (un 49% de la radiación solar), y aumentan el albedo efectivo del planeta a través de la reflexión de la luz solar que incide en la estratosfera. Las partículas grandes pueden conducir a un calentamiento de la troposfera por efecto invernadero. Si hay un número sustancial de partículas de tamaño mayor que $1 \mu\text{m}$, lo cual puede ocurrir durante los primeros meses después de la erupción, el efecto de enfriamiento disminuye (Hansen et al., 1992).

Los tiempos de permanencia de las partículas en la estratosfera dependen de su tamaño, así, mientras partículas grandes pueden permanecer del orden de semanas, partículas de radio inferior a $2 \mu\text{m}$ pueden permanecer hasta años (Lamb, 1977). En el caso de la erupción de El Chichón en Abril de 1982, el tamaño de las partículas mes y medio después de la erupción era de $1.4 \mu\text{m}$, y seis meses y medio después era de $0.5 \mu\text{m}$. En el estudio de esta erupción, se observó una reducción de la cantidad de aerosoles de 20×10^6 a 8×10^6 toneladas en Abril de 1983 (Rampino y Self, 1984). Las partículas más pequeñas no son, en general, suficientemente abundantes como para ser radiativamente significativas (Lacis et al.,

1992).

Si expresamos la ley de Beer-Bouguer-Lambert en términos del ángulo cenital del Sol, Z , para tener en cuenta el ángulo de incidencia de los rayos solares, obtenemos una expresión del tipo (Peixoto y Oort, 1992)

$$\tau_{\lambda} = \exp\left(-\sec Z \int_0^{\infty} k_{\lambda} \rho dz\right)$$

El efecto será mayor en altas latitudes, donde los ángulos de incidencia de los rayos solares son más bajos y se producirán largos recorridos a través de las capas de polvo (Lamb, 1977).

Para analizar la relación entre la temperatura media de la Tierra y la radiación solar incidente puede hacerse uso de diferentes modelos, desde los más simples modelos de balance de energía (Budyko, 1974) hasta los más elaborados modelos de circulación general (Hansen et al., 1992). Los resultados sugieren un descenso del orden de 0.5 a 1° C para el año posterior a la erupción. Una disminución de la temperatura provoca situaciones de inestabilidad dinámica horizontal en las corrientes zonales (Palomares Casado, 1983), lo cual conduce a las situaciones de ruptura de la corriente zonal descritas en la sección anterior.

Los volcanes son sólo uno de los diversos agentes que modulan las temperaturas superficiales, y la disminución de temperatura hemisférica en unas décimas de grado es del mismo orden que la variabilidad anual en el "ruido" de fondo del espectro climático atribuido a factores no-volcánicos (Pyle, 1992). Aunque un descenso de aproximadamente 1°C sea significativo desde un punto de vista climático, puede estar enmascarado por la gran variabilidad natural del clima (Hansen et al., 1992). De hecho, en su estudio sobre las influencias de diversos factores climáticos en el balance de energía global durante el periodo 1958-1987, Gunn (1991) encuentra que los aerosoles atmosféricos no son un predictor efectivo para el Hemisferio Norte, en comparación con otros factores tales como la posible influencia de la variabilidad solar (que este autor admite), el fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación Austral) y el aumento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono. Las

dos mayores erupciones dentro del periodo estudiado por Gunn son la del Monte Agung, el 17 de Abril de 1963, y la de El Chichón, en Marzo-Abril de 1982. Ambas erupciones provocaron descensos en el balance global de energía.

Dada la inequívoca relación entre temperatura superficial y grandes erupciones volcánicas, es importante contar con una completa cronología de las grandes explosiones volcánicas del pasado con el fin de obtener una mejor comprensión de la variabilidad del clima durante los últimos siglos (Bradley y Jones, 1992b). Los diferentes métodos para obtener tal cronología van desde las referencias en documentos históricos hasta el análisis de los niveles de acidez en la estratigrafía de núcleos de hielo de Groenlandia (Gilliland, 1982), pasando por el análisis de anillos de árboles (Scuderi, 1990). El registro obtenido por diferentes cronologías (Hirschboeck, 1980; Newhall y Self, 1982) es probablemente incompleto, particularmente en lo que respecta a las características químicas de las erupciones e incertidumbres en su magnitud y fecha, pero al menos los diferentes catálogos muestran poco desacuerdo acerca de cuáles fueron las mayores erupciones de los últimos 500 años (Bradley y Jones, 1992b).

Según Lamb (1977), los más altos niveles de actividad volcánica ocurrieron en las décadas de 1550, 1600, 1630, 1640 y 1660. Hirschboeck (1980) establece los máximos índices de actividad volcánica hacia 1550, 1600 y alrededor de 1640. Robock (1981) también indica el siglo XVII como uno de los más activos junto al siglo XVIII en los últimos 500 años. Scuderi (1990) encuentra en índices de anillos de árboles de Sierra Nevada (USA) una mayor actividad volcánica entre 1610 y 1620, y destaca la coincidencia con los resultados del análisis de los índices de acidez en núcleos de hielo en Groenlandia, en los que se aprecia un crecimiento a partir de finales del siglo XVI, que alcanza un valor máximo alrededor de 1630. Para Pyle (1992), los únicos sucesos volcánicos climáticamente efectivos con un cierto grado de confianza son los correspondientes a 1601-1605 y 1640-1643. Estas estimaciones parecen apoyar la idea de que una de las principales causas de la aparición de la Pequeña Edad de Hielo fue la actividad volcánica desde mediados del siglo XVI (Font Tullot, 1988). Los periodos cubiertos, a "grosso modo", vienen a coincidir con nuestros resultados.

Sin embargo, las incertidumbres en la estimación de la intensidad de las erupciones históricas, en la composición química de los aerosoles, en la datación precisa, e incluso en los propios métodos de tratamiento de datos "proxy", obligan a considerar estos resultados con cautela. No todas las erupciones volcánicas tienen el mismo potencial a efectos climáticos, y su contribución a la variabilidad del clima puede estar oculta, cuando no ser contrarrestada, por la participación de algún otro mecanismo, ya sea externo o interno.

En la Tabla V.4.3.1 se recogen los diferentes sucesos encontrados en la bibliografía, con potenciales efectos en el clima. El registro de grandes erupciones explosivas muestra, como es lógico, una frecuencia decreciente a medida que nos alejamos en el tiempo. Si comparamos los datos de esta tabla con el registro de anomalías térmicas detectadas en Andalucía en la época de estudio (Tabla IV.5.1), y usamos el criterio de que los efectos de la erupción se apreciarían en los dos años siguientes a la misma, es posible postular, como hipótesis de trabajo, una relación puntual entre erupciones y volcánicas y anomalías térmicas en Andalucía. Así podría ocurrir con las anomalías térmicas correspondientes al invierno de 1511, el invierno de 1527, el otoño de 1562, el año 1587, invierno de 1600, otoño de 1628, invierno y primavera de 1641, invierno de 1644, invierno de 1669, e invierno y primavera de 1694 (las erupciones volcánicas correspondientes están indicadas en la tabla mediante un asterisco).

Si observamos la evolución de las precipitaciones en Andalucía durante el mismo periodo (Fig. IV.6.5.3) encontramos la coincidencia de erupciones volcánicas tanto con fases de crecimiento (como, por ejemplo, para las erupciones de 1560, 1575, 1586, 1627, 1640-43, 1663, 1684) como con fases de descenso de las precipitaciones (erupciones de 1525, 1534, 1600, 1673, 1680), por lo que, si alguna interpretación cabe, es la de influencia a corto plazo de uno o dos años. El efecto climático, si existió, por los datos de que disponemos, debió limitarse al corto periodo de uno o dos años después de la erupción, pero nada parece indicar la existencia de una actividad volcánica continuada como responsable de la aparición de la Pequeña Edad de Hielo, y de su manifestación en Andalucía.

TABLA V.4.3.1.- Erupciones volcánicas en la época en estudio. Las fuentes son: (1) Taira (1980); (2) Scuderi (1990); (3) Bradley y Jones (1992b). Se añaden dos erupciones detectadas por nosotros. (°) Erupciones probablemente relacionadas con la aparición de anomalías térmicas en Andalucía dentro del periodo de 2 años siguiente a la erupción. En el año 1641 se detectaron 2 erupciones diferentes.

AÑO	LUGAR	BANDA LAT.	FUENTE
1500	USA	>45°N	3
1510°	Islandia	>45°N	3
1511	Japón	20-45°N	1
1525°	Costa Rica	0-20°N	3
1534	Ecuador	0-20°S	3
1560°	Japón	20-45°N	1
1563	Azores	20-45°N	3
1575	El Salvador	0-20°N	3
1579	Sicilia	20-45°N	HG-2
1586°	Indonesia	0-20°S	3
1595	?	0-20°S?	HG-3
1600°	Ecuador	0-20°S	3
1601	?	?	2
1627°	Japón	20-45°N	1
1640°	Japón	20-45°N	1,2
1641	Indonesia	0-20°N	2
1643°	Japón	20-45°N	1
1663	Japón	20-45°N	3
1664	Guatemala	0-20°N	2
1666	?	?	2
1667°	Japón	20-45°N	3
1671	El Salvador	0-20°N	3
1673	Indonesia	0-20°N	3
1680	Indonesia	0-20°N	3
1684	Japón	20-45°N	1
1686	Japón	20-45°N	3
1690°	Kuriles	>45°N	3
1693°	Islandia	>45°N	3

5.4.4. Mecanismos estocásticos internos.

La comprensión de los cambios climáticos a una escala temporal del orden de 10^2 años no es posible sin tener en cuenta el papel clave de los océanos (Flohn y Weber, 1986). La influencia de los océanos en el clima se debe a los procesos de transferencia de calor dentro del sistema océano-atmósfera, la gran inercia térmica de los océanos y las variaciones de temperatura de la superficie del mar y de la extensión de hielo marino, que determinan el clima atmosférico. El acoplamiento entre océano y atmósfera se realiza a través de los flujos superficiales en la interfase aire-mar (Cattle, 1991).

Las anomalías en la temperatura de la superficie del mar se consideran como la influencia probablemente más importante en las anomalías meteorológicas a largo plazo, con tal de que cubran un área del orden de 1000 km^2 o sean suficientemente intensas para alterar la entrada de calor en la atmósfera en al menos $50 \text{ cal/cm}^2\text{día}$ y persistan con pocos cambios a lo largo del periodo en estudio (Lamb, 1977). La gran inercia térmica del océano, debida a la mayor capacidad calorífica del agua del mar en comparación con la de tierra, hace posible la persistencia de fuertes anomalías en uno o varios meses (Lamb, 1977). El estado térmico atmosférico depende de transacciones termodinámicas con la superficie oceánica. La tasa de aporte de calor al aire superior depende de la temperatura del agua superficial, de la diferencia de temperatura entre el mar y el aire, y del grado de saturación del aire. Así, el flujo de calor sensible H_s dado por unidad de superficie oceánica en la unidad de tiempo, puede expresarse como (Cattle, 1991)

$$H_s = \rho_A C_H V_A (T_s - T_A)$$

donde ρ_A es la densidad del aire, C_H un coeficiente de intercambio para el calor sensible, V_A la velocidad del viento en superficie, T_s la temperatura de la superficie del mar y T_A la temperatura del aire superficial.

El flujo de calor latente LE hacia la atmósfera viene dado por

$$LE = \rho_A C_E V_A L (q_s - q_A)$$

donde L es el calor de vaporización, C_E un coeficiente de intercambio para el calor latente q_A la humedad específica del aire y q_s la razón de mezcla de saturación del agua a la temperatura T_s .

Además, existe un flujo de radiación de onda larga dado por la ley de Stefan-Boltzmann

$$F = \epsilon \sigma T_s^4$$

donde ϵ es la emisividad infrarroja de la superficie oceánica y σ la constante de Stefan-Boltzmann.

En latitudes medias, la temperatura superficial T_s presenta su valor máximo en Febrero y el mínimo en Agosto, dada la lenta respuesta de la superficie del mar provocada por su gran calor específico. T_s es mayor que T_A en unos 0.8°C sobre muchas latitudes, por lo que el mar debe dar calor a la atmósfera. Donde el mar es más cálido que el aire, el calor que pasa hacia el aire superficial provoca una estratificación inestable y convección a grandes alturas en la atmósfera, mientras que el calor perdido en la superficie del mar induce una estratificación inestable y fenómenos de convección en el seno del mar. Contracciones o expansiones de las áreas en las que el océano dé más calor a la atmósfera deben afectar a la energía y dirección de las perturbaciones atmosféricas. Un lugar en el que la relación océano-atmósfera puede inducir un cambio en el régimen climático de marcada persistencia es entre los 40 y 45°N , en el límite de la Corriente del Golfo. Los efectos de anomalías cálidas o frías sobre la atmósfera parecen ser la producción de situaciones más ciclónicas o anticiclónicas, respectivamente, cerca de los 60°N . De hecho, parece haber un paralelismo general entre la subida de T_s y la intensificación de la circulación general atmosférica. Las anomalías meteorológicas superficiales observadas se producen por amplificación o disminución de las dorsales y vaguadas superiores que pasan sobre un mar cálido o frío (Lamb, 1977).

Si cualquier extensión de mar más cálida de lo normal es invadida por masas de aire frío de origen ártico, se produce una profundización de las condiciones ciclónicas de inestabilidad. En las partes orientales de los sistemas resultantes persisten vientos

superficiales del Sur que transportan aire cálido hacia el Polo y son capaces de crear una dorsal cálida estacionaria de considerable amplitud (esta dorsal cálida puede ser una anomalía regional en un régimen que favorecería, por la presencia de una vaguada fría superior estacionaria sobre el sector continental, un régimen invernal notablemente frío sobre la mayor parte del continente en cuestión). El mantenimiento del aire frío y la circulación ciclónica sobre la región oceánica anómalamente caliente debe tender a eliminar la anomalía de T_s . Cerca de los límites continentales, en latitudes medias y altas, la circulación atmosférica puede guiar el desplazamiento del agua hacia el Polo, dando lugar a situaciones por las que este efecto se repite en intervalos durante años.

Este mecanismo puede durar entre 3 y 4 años (Lamb, 1977) y explica la aparición de profundas vaguadas en altura que alcanzan la latitud de Andalucía y provocan las intensas precipitaciones que llegan a la región, sobre todo durante el invierno. Ocurre además en una escala temporal que coincide con las periodicidades encontradas en el comportamiento del anticiclón de las Azores, tanto en su posición geográfica como en el valor de la presión central, y que se corresponde con el pico de ~ 3.5 años encontrado en nuestras series. Este ciclo aparece tanto en la región M como en la región SW, así como en el conjunto de Andalucía, siendo el único ciclo común a las dos regiones y a todos los periodos de tiempo estudiados, indicando así el importante papel de la interacción océano-atmósfera en la explicación de las fluctuaciones encontradas en el régimen de precipitaciones.

El hielo actúa a través de efectos de albedo y mediante intercambio de calor con la atmósfera y el océano (Mitchell, 1976). Si la capa de hielo ártico se mantiene o aumenta, incrementa el gradiente térmico de la atmósfera a través de la zona próxima al límite de hielo, lo cual debe intensificar la circulación atmosférica a gran escala sobre latitudes medias (Lamb, 1977). Por otro lado, la anomalía oceánica repercute en cambios de las corrientes oceánicas, con importantes efectos sobre el clima europeo. Lamb (1979) relaciona el descenso de las temperaturas en Inglaterra durante la Pequeña Edad de Hielo con el papel que desempeñaron las corrientes frías del Artico, al desplazarse más al sur de sus posiciones habituales.

El proceso de cambio climático podría ser el siguiente (Lamb, 1977; Flohn y Weber, 1986): la reducción de la radiación solar en altas latitudes (donde el efecto radiativo es mayor) como consecuencia de un hipotético fenómeno de enfriamiento, como el que suponen las erupciones volcánicas, conduce a una disminución de la temperatura que en estas zonas puede llegar a ser de hasta 1°C. Como consecuencia se produce un aumento de la capa de nieve, con acumulación de hielo y formación de hielo marino. El mayor albedo de las superficies de hielo conducirá a una nueva disminución de la temperatura (retroalimentación hielo-albedo). El enfriamiento es mayor en regiones polares y menor y más lento en regiones ecuatoriales, por lo que se produce una expansión del vórtice circumpolar similar a las variaciones estacionales a lo largo del año. El cinturón de anticiclones subtropicales se desvía hacia el Ecuador. Las temperaturas más bajas inducen la ruptura de las condiciones de estabilidad de las corrientes zonales, y dan lugar a los fenómenos extremos que afectan a Andalucía, principalmente invasión de olas de frío por advección del NW o del NE e intensas lluvias causantes de inundaciones provocadas por los desplazamientos hacia el sur de las trayectorias de los ciclones extratropicales. El océano actúa a través de las diferencias de temperatura entre la superficie del mar y la del aire, intensificando y profundizando las dorsales y vaguadas de la corriente superior. Esta cadena de fenómenos puede prolongarse durante varios años. Los sistemas quasi-estacionarios que controlan la situación de bloqueo ocupan de un año a otro diferentes posiciones. Así cualquier lugar dado, puede experimentar muy diferentes tipos de tiempo, e incluso fenómenos extremos opuestos de temperatura y precipitación en años sucesivos. Esto es precisamente lo que se observa en Europa Occidental durante la Pequeña Edad de Hielo (Lamb, 1979).

Recientes resultados de modelos acoplados de océano y atmósfera indican que los ciclos a escala temporal de décadas y/o siglos no necesitan causas externas, sino que pueden ser la manifestación de la variabilidad natural dentro del sistema acoplado atmósfera-océano-hielo (Stocker y Mysak, 1992). Los procesos de retroalimentación no lineal podrían, en principio, producir la oscilación o autovariación del sistema completo, con la suficiente magnitud y variabilidad como para explicar cualquier cambio observado en el clima (Kutzbach, 1976).

El clima no necesita ser único. Dos o más conjuntos distintos de estadísticas pueden constituir el clima sin violar ninguna ley física. El clima puede estar en un estado de continuo ajuste en tránsito, de tal modo que factores no deterministas podrían ser responsables en todo o en parte de las fluctuaciones de largo periodo (Lorenz, 1976).

Aceptemos que dos diferentes estados, A y B, del sistema climático, son posibles en un instante dado y consiremos que A es el estado climático que normalmente se esperaría bajo unas condiciones de contorno dadas. Se habla de un sistema completamente transitivo cuando el estado B se aproxima asintóticamente al estado A con el paso del tiempo. En un sistema completamente intransitivo el estado B se mantendría sin cambios y las dos posibles soluciones coexistirían, en cuyo caso no habría forma de identificar el estado A como el clima "normal", pues el estado B aportaría un conjunto de estadísticas igualmente aceptable. Si el sistema es quasi-intransitivo, el sistema en el estado B puede comportarse durante un tiempo como si fuera intransitivo, y luego desviarse hacia el estado alternativo A, donde puede mantenerse durante un periodo posterior de tiempo. El sistema puede luego retornar al estado climático original B donde podría mantenerse o entrar en evoluciones posteriores. Así pues, el clima considerado como un sistema quasi-intransitivo consistiría de dos (o más) estados quasi-estables, junto con periodos de transición entre ellos (Berger, 1991).

La posibilidad de que el flujo ininterrumpido del oeste y el flujo bloqueado sean dos estados de equilibrio alternativos para la atmósfera de latitudes medias, viene sugerida por algunas medidas de la circulación que muestran bimodalidad en su distribución de frecuencia, como es el caso de la diferencia de presión media al nivel del mar entre las Azores e Islandia para los meses de invierno (Parker, 1982).

Podemos suponer que la atmósfera posee dos regímenes distintos de comportamiento invernal, y que dentro de un mismo invierno pasará de un régimen a otro con dificultades, o no lo hará. Cuando el invierno termina, y el calentamiento solar se intensifica, la atmósfera adquiere un comportamiento distinto, que no es característico de ningún régimen de invierno. Cuando llegue el siguiente invierno, la atmósfera entrará de nuevo en uno de los dos regímenes invernales, pero la elección entre estos puede ser más o menos al azar. Así, la quasi-intransitividad atmosférica puede ser de poca importancia para las fluctuaciones

climáticas a largo plazo. Sin embargo, si la anomalía atmosférica persiste durante el tiempo suficiente, puede provocar una anomalía en la temperatura de la superficie del mar T_s , la cual, a su vez, puede llevar a una nueva anomalía atmosférica o a la persistencia de la anterior. Así, la quasi-intransitividad de la atmósfera aumenta la posibilidad de que el sistema completo sea quasi-intransitivo, lo cual puede ser un factor que contribuya a un cambio climático de largo periodo (Lorenz, 1976).

Aunque no tenemos medios para afirmar que el sistema climático es quasi-intransitivo (Peixoto y Oort, 1992), la quasi-intransitividad se caracteriza por la existencia de dos soluciones distintas que, si el periodo de tiempo es suficientemente largo, tienen estadísticas similares. O, dicho de otra forma, una única solución posee diferentes propiedades estadísticas para distintos periodos dentro de un largo periodo de tiempo. Este podría ser el caso de nuestros datos, donde hemos encontrado y caracterizado tres periodos diferentes, donde alternan las condiciones de sequedad-humedad. Los dos estados climáticos quasi-estables serían el correspondiente a la circulación zonal, y el correspondiente a la circulación de bloqueo, caracterizados, respectivamente, por el menor y mayor número de ondas en las ondas planetarias u ondas de Rossby. La irrupción de uno de estos estados sería entonces el resultado de una anomalía específica y el desarrollo posterior de las interacciones entre los diferentes subsistemas que componen el sistema completo.

Esta variabilidad estaría modulada por la periodicidad típica de las interacciones atmósfera-océano de aproximadamente 3.5 años, y podría estar afectada a corto plazo (hasta 2 años) por la actividad volcánica y la acción de otros factores, como la influencia luni-solar.

Otro mecanismo interno que puede afectar a la variabilidad climática es la oscilación quasi-bianual que se ha encontrado en numerosos estudios (Holton, 1990). Este fenómeno se origina por las ondas ecuatoriales de propagación vertical en la baja estratosfera. El viento zonal es forzado a oscilar entre los vientos del este y del oeste con un periodo que depende principalmente del transporte de momento vertical y otras propiedades de las ondas, y no del ciclo anual de calentamiento solar. Este periodo, ligeramente superior a los dos años, ha sido encontrado en nuestras series de la región SW y Andalucía considerada en su conjunto. Aunque los mecanismos por los cuales la oscilación quasi-bianual estratosférica afecta al resto

de la atmósfera son todavía inciertos (Peixoto y Oort, 1992), según Mitchell (1969), las periodicidades encontradas en los estudios climáticos ligeramente superiores a los dos años deben interpretarse como una manifestación de la oscilación quasi-bianual. Es posible que los cambios de temperatura cerca de la tropopausa tropical afecten a la intensidad de la convección e influyan en la célula Hadley, y, por tanto, en la circulación general (Parker, 1982).



CONCLUSIONES



Según el esquema trazado al comienzo de esta Memoria en cuanto a los objetivos de nuestro trabajo, podemos dividir los resultados en dos grandes bloques, atendiendo a criterios metodológicos y a resultados climatológicos. Posteriormente, señalaremos algunas de las perspectivas abiertas en el curso de la investigación.

a) Conclusiones metodológicas.

1) Se ha comprobado la utilidad, a efectos paleoclimáticos, de los documentos históricos.

2) Se ha conseguido reunir un banco de datos, tanto directos como indirectos, suficientemente informativo sobre las condiciones meteorológicas y climáticas en Andalucía durante los siglos XVI y XVII.

3) El análisis del comercio de la nieve permite realizar inferencias respecto del nivel y evolución de las precipitaciones y la innivación en las zonas montañosas.

4) El análisis de las noticias de plaga de langosta permite extraer la siguiente información:

a) Suelen coincidir con situaciones de sequía primaveral, o con primaveras lluviosas que dan por terminado un periodo de sequía.

b) Cuando se producen en años consecutivos informan de inviernos suaves, con mínimas superiores a -5°C , que favorecen la supervivencia de los huevos en estado de letargo, y la reaparición de la plaga la siguiente primavera. En general, coinciden con periodos cálidos, estando marcados los periodos con ausencia de la plaga por la aparición de olas de frío.

c) A escala temporal de un siglo, la frecuencia de plagas nos informa sobre la mayor o menor presencia de vientos meridionales o de circulaciones del Este no-zonales.

5) Se ha establecido un modelo cualitativo para explicar las relaciones entre clima y agricultura en la época de estudio. En este modelo, es preciso comparar datos cualitativos y cuantitativos de producción agraria con las informaciones descriptivas de fenómenos

meteorológicos. Las variaciones climáticas son responsables de la variabilidad en la producción agraria a corto plazo (inter-anual, intra-decenal), en asociación con factores de carácter socio-económico. Años de buenas cosechas deben interpretarse como años de pluviometría "normal" y ausencia de fenómenos meteorológicos extremos, mientras que años de cosechas moderadas o deficientes corresponden a la aparición y/o sucesión de fenómenos de carácter extremo (sequías, lluvias intensas, inundaciones, granizos, heladas, tormentas, etc.).

6) El análisis de los datos cualitativos directos permite reconstruir las precipitaciones totales anuales (y, en cierta medida, las estacionales) como variable climática a estudiar. Las series obtenidas son series aleatorias simples, homogéneas, y por tanto susceptibles de un tratamiento estadístico.

7) Entre los diferentes métodos estadísticos utilizados, muestran su utilidad los métodos no-paramétricos, aconsejables cuando la distribución de los datos de las series es no-normal.

8) El Método estadístico consiste en los siguientes pasos:

a) Estudio de la homogeneidad de la serie (tests de aleatoriedad).

b) Detección, si existen, de cambios climáticos (sumas acumulativas de desviaciones, test t de diferencia entre las medias).

c) Caracterización de los posibles cambios climáticos: tendencias (test de Kendall, regresión lineal), discontinuidades (test de Mann-Kendall) y fluctuaciones (medias móviles).

d) Análisis del espectro de potencia (periodogramas) con el objeto de buscar escalas temporales características que informen sobre posibles mecanismos causales.

e) Procedimiento de Reconstrucción: obtención de una adecuada "función de transferencia" mediante regresión con valores instrumentales, aplicación a los datos históricos, y validación mediante comparación con resultados de otras zonas y/o otros datos "proxy". El procedimiento proporciona resultados directamente comparables con los datos modernos.

9) En el estudio de fenómenos extremos concretos, el método de trabajo es el

siguiente:

a) Caracterización del fenómeno extremo por sus manifestaciones en superficie y los principales tipos de tiempo responsables.

b) Búsqueda de ejemplos modernos bien caracterizados.

c) Búsqueda de situaciones históricas análogas.

d) Inferencia meteorológica a partir de la descripción del fenómeno, la estación del año en que se produce y los sucesos en regiones próximas.

e) El significado climático del fenómeno viene dado por su relación con las principales tendencias, máximos y mínimos de la serie temporal.

10) El índice pluviométrico puede servir como índice de las variaciones de la presión central y la posición latitudinal del anticiclón de las Azores. Si $I > 0$, bajos valores de la presión y/o situación meridional; si $I \leq 0$, altos valores de la presión y/o posición latitudinal más al norte. En consecuencia, también indica las características de la circulación, meridional o zonal, respectivamente.

b) Resultados climatológicos.

1) Del análisis de los datos indirectos (comercio de la nieve, plaga de langosta, producción cereal y otros), se infieren las siguientes características climatológicas generales para los siglos XVI y XVII:

a) Suponen un periodo de condiciones térmicas más frías que las correspondientes a los siglos XV y XVIII, aunque estas características no pueden considerarse ni homogéneas ni constantes a lo largo del periodo.

b) Muestran una gran variabilidad en el régimen de precipitaciones, con alternancia de sequías y periodos lluviosos, tanto a escala intra-anual, como inter-anual e interdécada.

c) En comparación con los siglos XV y XVIII, muestran mayor presencia de las circulaciones meridionales o no-zonales.

2) El bajo número de noticias térmicas encontradas refleja el carácter secundario de la temperatura como indicadora de cambios climáticos en Andalucía, en comparación con las precipitaciones.

3) Se detecta un posible periodo más frío, con mayor presencia de heladas y nevadas invernales en la región, desde mediados del siglo XVI a mediados del siglo XVII.

4) Los datos térmicos concuerdan en líneas generales con los resultados obtenidos a partir de los datos indirectos, y con los resultados de otras regiones, tanto en la Península Ibérica como en Europa.

5) El cambio climático en el Surco Intrabético (región M), respecto a las precipitaciones totales anuales, se produjo en forma de fluctuaciones, con periodicidades en torno a los 3 y 7 años. No se detectaron tendencias significativas ni cambios abruptos. La variabilidad de las precipitaciones fue mayor en el periodo más húmedo.

6) En la Cuenca del Guadalquivir (región SW) se produjo una oscilación climática con periodos de aproximadamente 2-3, 3.5 y 16.6 años en las precipitaciones anuales. No aparecen tendencias ni cambios abruptos, y la variabilidad de las precipitaciones disminuyó coincidiendo con la fase más húmeda.

7) Las condiciones generales de Andalucía están bien representadas por la región SW, mostrando la serie de la región M características ligeramente diferentes.

8) Se detecta un predominio de situaciones más húmedas que en la actualidad, con mayor amplitud de las desviaciones en la región SW, indicando en esta zona una mayor variabilidad interanual e interdécada.

9) Puede distinguirse una fase más húmeda entre mediados del siglo XVI y mediados del siglo XVII, precedida y seguida por fases más secas.

10) Los resultados de la reconstrucción se verifican, en términos generales, por los resultados procedentes de otros datos "proxy" y otras regiones.

11) La importancia de los fenómenos locales queda reflejada en los bajos porcentajes de estaciones con índices de igual signo en ambas regiones.

12) Se observa un predominio de las lluvias durante el otoño y el invierno, alternancia de lluvias y sequías en la primavera, y esporádicos sucesos tormentosos en verano.

13) En el ritmo de precipitaciones tuvieron un papel destacado las borrascas de origen atlántico.

14) No se aprecia vinculación alguna entre la actividad solar, y en concreto el Mínimo Maunder, y el clima andaluz.

15) Nada parece indicar la existencia de una actividad volcánica continuada como responsable de la aparición de la Pequeña Edad de Hielo, y su manifestación en Andalucía.

16) El proceso de cambio climático natural en la época de estudio parece responder al siguiente esquema: Un fenómeno de enfriamiento en altas latitudes (generado por una erupción volcánica, o bien por una anomalía del sistema climático) conduce a una disminución de la temperatura en estas latitudes de hasta 1°C. Como consecuencia, se produce un aumento de la capa de nieve y hielo marino. La retroalimentación hielo-albedo mantiene esta anomalía negativa. Se produce una expansión del vórtice circumpolar similar a las variaciones estacionales a lo largo del año y el cinturón de anticiclones subtropicales se desvía hacia el Ecuador. Las temperaturas más bajas inducen la ruptura de las condiciones de estabilidad de las corrientes zonales, y dan lugar a los fenómenos extremos de ruptura de la corriente zonal que afectan a Andalucía, principalmente invasión de olas de frío por advección del NW o del NE, e intensas lluvias causantes de inundaciones. El océano actúa a través de las diferencias de temperatura entre la superficie del mar y el aire, intensificando y profundizando las dorsales y vaguadas de la corriente zonal. Esta cadena de fenómenos puede prolongarse durante varios años, con periodicidades típicas del orden de 3.5 años, pico encontrado en todos los periodogramas calculados, en las diferentes regiones y para distintos periodos de tiempo.

17) En el periodo de tiempo analizado, el sistema climático en Andalucía parece manifestarse como un sistema quasi-intransitivo, con dos estados climáticos caracterizados por el predominio de la circulación zonal y la ruptura de la zonalidad.

c) Perspectivas.

1) Es necesario prolongar las series existentes hasta llegar a un periodo de solapamiento con los primeros registros instrumentales. Esta ampliación de la base de datos permitirá:

- a) Refinar la precisión temporal de los índices numéricos.
- b) Mejorar el proceso de calibración de los índices con datos instrumentales.
- c) Ampliar a otras variables climáticas, como por ejemplo, la temperatura media anual, estacional o mensual, el procedimiento de reconstrucción.

2) Todavía está pendiente la integración de los distintos tipos de datos, directos e indirectos, en una base de datos común, que permita su utilización conjunta para la elaboración de índices numéricos tanto térmicos como pluviométricos.

3) La utilidad del modelo clima-agricultura sugiere su ampliación a otras series de datos cuantitativos, y a otros tipos de cultivo, en especial, el olivo y la vid.

4) Puede afrontarse el estudio de la aplicabilidad a nuestros datos de técnicas de análisis espectral, como el espectro de máxima entropía o el análisis espectral singular.

5) La comparación con el comportamiento de las series instrumentales permitirá discernir diferencias en el carácter de los cambios climáticos naturales (históricos) y contemporáneos. Así, por ejemplo, si el clima del pasado no muestra tendencias ni cambios abruptos, sería posible asociar este tipo de cambios en el presente, y considerando la misma variable climática, a la acción de factores inexistentes en el pasado, como el aumento de las concentraciones de CO₂.

6) Los resultados ofrecen la posibilidad de elaborar modelos que intenten reconstruir la evolución del clima del pasado. Estos modelos deberán tener en cuenta las interacciones océano-atmósfera como principal agente en los procesos de cambio climático natural. Además, no se descarta el papel de factores como la influencia luni-solar y la oscilación quasi-bianual.

APENDICES



APENDICE I

FUENTES DE DATOS

Anales urbanos

AU-1. Anales de Granada.

La más importante fuente de datos sobre Granada son los *Anales de Granada*, obra de F. Henríquez de Jorquera (1594- 1646), comerciante local de aficiones eruditas y literarias, muy implicado en la vida pública de la ciudad, como atestigua su activa participación en celebraciones públicas, a través de la composición de romances y poemas sobre sucesos locales. Así, en 1630 publica en Granada un romance y un poema en octavas reales en el que describe las fiestas celebradas en la ciudad por el nacimiento del Príncipe Baltasar Carlos. En 1633 publica una Descripción de las fiestas del Corpus y en 1640 compone una relación en verso de solemnidades religiosas. En general, el autor es testigo de lo que cuenta y, a veces, llega a incorporar informaciones de otras partes de España, de las que pudo tener noticias por medio de algún correspondiente o de las relaciones que circulaban impresas de mano en mano. En su biografía, tan sólo se contabilizan algunas breves ausencias de la ciudad, en 1625 en que viaja a Toledo desde el 8 de Mayo hasta el 12 de Junio; en 1627, en que se encuentra en Sevilla el 12 de Diciembre; y en 1642, cuando está ausente hasta el 27 de Julio. En 1643 se supone que residía en Sevilla.

Según Marín Ocete (edición crítica de 1934) es un fiel representante de las características históricas del siglo XVII, posee dotes de observador y narrador veraz, muestra preocupación por el detalle y se vale de la acumulación de notas individuales, precisas y menudas. Manifiesta por lo general una gran seguridad de año, mes, y días, llegando incluso hasta anotar la hora de lo sucedido. Es ordenado, comienza cada año con los hechos de fuera de Granada, va narrando mes por mes. Se sirve en ocasiones de obras anteriores que ha completado y modernizado. Según su costumbre, nos da noticias de sus principales fuentes, las cuales demuestra conocer y valorar con justicia entre otras similares.

El manuscrito consta de tres volúmenes en folio, conservados en la Biblioteca Capitular y Colombina de Sevilla, encuadrados en pergamino. Según su editor, los *Anales*

comenzaron a redactarse en la década de los años veinte, habiendo constancia de que su autor ya trabajaba en el texto hacia 1628. La obra consta de tres partes bien diferenciadas. En la primera realiza una descripción general de la ciudad y sus alrededores. La segunda parte consiste en una descripción de la Guerra de Granada, que culminó en su conquista por los Reyes Católicos en 1492. No aporta elementos originales, limitándose a concordar textos de los historiadores de los Reyes Católicos. Entre las fuentes de Jorquera para esta parte, que cubre el periodo 1482-1492, podemos citar a Antonio de Nebrija, testigo de los hechos, y su obra *Rerum a Fernando et Elisae gestarum Decadas*, publicada en Granada en 1545; Esteban de Garivay autor de *Los XL libros del compendio historial de las chrónicas*, Amberes 1571; Jaime Bleda, autor de *Crónica de los moros de España*, Valencia 1618; y autores como Jerónimo Zurita, Juan de Mariana o Francisco Bermúdez de Pedraza, de los que nos ocuparemos más adelante.

La tercera parte es la más interesante para nuestros propósitos, pues relata en un conjunto misceláneo los sucesos político-militares de España junto con una gran cantidad de acontecimientos locales, tales como eclipses, inundaciones, pestes, sequías, fiestas tradicionales, fundaciones religiosas, nombramientos de autoridades locales, etc. Comprende la descripción ordenada, año por año, mes por mes, de los acontecimientos más importantes. Constituye una verdadera crónica de la vida de la ciudad en el periodo de tiempo que comprende, aumentando su valor el hecho de que el autor fue testigo de la mayoría de los hechos que cuenta. Esta parte comprende los años 1588, 1590 y desde 1603 hasta 1646. Probablemente el autor escribía a una cierta distancia cronológica de los hechos, siendo las sospechas de error mayores en las dos primeras décadas del siglo XVII.

La edición utilizada es la publicada por la Universidad de Granada en 1987 con estudio preliminar de Pedro Gan Jiménez y nuevos índices elaborados por Luis Moreno Garzón, edición facsímil de la edición crítica del paleógrafo Antonio Marín Ocete, publicada en Granada en 1934 por la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Granada. Esta edición de 1934 es la primera que de forma íntegra se realizó sobre esta obra, a partir del manuscrito original.

AU-2. Memorias de Sevilla.

Este texto consiste en una recopilación y refundición de varios manuscritos anónimos o de autoría dudosa, hallados en la Biblioteca Capitular Colombina de la ciudad de Sevilla y editados por el historiador especialista en temas andaluces F. Morales Padrón (1981). En conjunto, la obra cubre el periodo 1600-1678, y, según su editor, se deduce del texto que los diversos autores fueron todos testigos presenciales de los hechos (como, por ejemplo, cuando uno de ellos cuenta que se vio obligado a cerrar su tienda por el Motín de Feria de 1652, o relata cómo sobrevivió a la epidemia de peste de 1649). Los temas tratados son las condiciones climáticas (riadas, sequías, tormentas) con repercusiones en el abastecimiento, las alteraciones de la moneda y fluctuaciones de los precios, el arribo de flotas, perturbaciones sociales, etc. Del periodo total de tiempo cubierto no hay noticias de ningún tipo en los años 1602, 1606, 1612, 1647-1648, 1666-1669, y 1671-1676, es decir, en 15 años de los 79 totales. La edición se completa con la inclusión de 14 relaciones relativas a diferentes sucesos de los años 1614, 1616, 1620, 1621, 1631, 1649, 1680, 1684, 1691 y 1692, además de un índice onomástico y otro toponímico.

AU-3. Anales de Sevilla.

En 1677, Diego Ortiz de Zúñiga (1633-1680) publica sus *Anales de Sevilla*. El autor manifestó una gran afición a los estudios históricos desde su juventud. Pertenecía a una noble familia sevillana, poseedora de una importante biblioteca y una rico archivo privado. Escribió varias obras genealógicas sobre la nobleza sevillana, entre las que destacan *Discurso genealógico de los Ortizes de Sevilla*, Cádiz 1670, a la que siguió, algo después, *Posteridad ilustre, generosamente dilatada, de Juan de Céspedes*. Se conserva también inédito su trabajo *Sevilla antigua* y comenzó a escribir una gran obra sobre las principales familias sevillanas, cuyo título habría de ser *Teatro genealógico*, pero que no llegó a terminar, dejando de ella algunos fragmentos.

Su obra más importante es los *Anales de Sevilla*, impresa en Madrid en 1677. Durante años Zúñiga se dedicó a recoger datos y consultar documentos y papeles del Archivo de la

ciudad y de archivos privados, como el de su propia familia, con el objeto de escribir una historia de Sevilla perfectamente documentada, con datos nuevos y mayores elementos de crítica que los contenidos en las historias escritas anteriormente, limitando su plan al tiempo comprendido entre la conquista de Sevilla, llevada a cabo por Fernando III, hasta su beatificación decretada por la Iglesia y celebrada con innumerables festejos en la ciudad. La magnitud del propósito hizo imposible su realización, y, no pudiendo desarrollar el plan en la forma inicial, hubo de elegir el método de los anales para escribir su libro. La obra, respondiendo a las características del género, es un conjunto de noticias de todo tipo, políticas, religiosas, sociales, económicas, culturales y meteorológicas. Abarca desde el año 1246 hasta 1671, sin años ausentes. Es un trabajo de gran fiabilidad, dado el rigor de su autor y su accesibilidad a archivos públicos y privados.

En 1795 se publicó una edición corregida y aumentada de esta obra, por Antonio María Espinosa y Carzel, quien, no sólo acompañó el texto de Zúñiga de numerosas notas que aclaraban o ampliaban determinados aspectos del original, sino que también aumentó el periodo cubierto, prolongando los *Anales* hasta el año 1700. Esta edición se publicó en cinco volúmenes impresos en la Imprenta Real. La edición consultada es la edición facsímil de la de 1795, editada en Sevilla (Ed. Guadalquivir) en 1988 por miembros del Departamento de Historia Medieval de la Universidad de Sevilla, con la adición de índices onomástico, topográfico y de materias en cada volumen.

AU-4. Anales de Madrid.

Los *Anales de Madrid* fueron escritos por León Pinelo (1592-1660) entre los años 1640 y 1648. El autor, jurista, profesor de derecho, cronista del Consejo de Indias, es autor, entre otras obras de carácter jurídico, de una importante recopilación bibliográfica, el *Epítome de la Biblioteca Oriental y Occidental Náutica y Geográfica*, publicado en 1629. Esta obra constituye la más importante biblioteca geográfico-naútica de la Europa de su época (Capel, 1982). El autor residió en Perú entre 1604 y 1623, año en el que llega a Madrid, donde residiría ya hasta su muerte el 22 de julio de 1660. Erudito típico de la Europa del siglo XVII, su actividad intelectual se desplegó en campos muy diversos, reuniendo en Madrid una importante biblioteca de impresos y manuscritos.

Los *Anales de Madrid* constituye un conjunto misceláneo de noticias, según las convenciones del género, y no fueron publicados hasta la edición de Martorell (1931), aunque de forma incompleta, centrándose en el periodo 1598-1621, correspondiente al reinado de Felipe III. La primera edición íntegra se publica cuarenta años después (Fernández Martín, 1971), y cubre el periodo comprendido entre el año 447 y el 1658, con numerosos huecos hasta finales del siglo XVI. Entre las fuentes de Pinelo merecen destacarse las obras *Antigüedad y Nobleza de Madrid* de Jerónimo de Quintana, Madrid, 1623 (1a. ed.) y 1629 (2a. ed), obra de la que copia algunas noticias casi textualmente, y *Theatro de las Grandezas de la Villa de Madrid* de Gil González Dávila, Madrid, 1623, por ser obras escritas en Madrid por residentes en la ciudad en los años en los que Pinelo estuvo ausente de la misma. Nicolás Antonio en su *Bibliotheca Hispano Nova* indica la accesibilidad del autor a los archivos públicos y privados del Reino, dada su condición de Relator suplente del Consejo de Indias desde 1644, y de Oidor de la Casa de Contratación de Sevilla y Cronista de Indias desde 1658.

Han sido dos las ediciones consultadas. La primera es la edición de R. Martorell (1931), que se limita al periodo del reinado de Felipe III, 1598-1621. Es una edición crítica del manuscrito original de la Biblioteca Nacional de Madrid, dotada de estudio preliminar y numerosas notas que amplían alguno de los relatos narrados por Pinelo con la adición de relaciones y otros textos coetáneos. La segunda edición consultada es la publicada por la Biblioteca de Estudios Madrileños (CSIC) en 1971, con transcripción, notas, ordenación cronológica e índices a cargo de Pedro Fernández Martín.

Historias de ciudades.

HC-1. Historia de Cádiz.

La *Historia de la ciudad de Cádiz*, escrita en 1598 por Agustín Orozco, fue publicada por primera vez por el Ayuntamiento de la ciudad en 1845. Su autor, estuvo al servicio de Felipe II, más tarde de Diego Hurtado de Mendoza, y, por último, fue escribano público en Cádiz. Se le deben además un *Discurso historial de la presa que del puerto de la Mármora hizo la armada real de España, año de 1614*, Madrid 1615, y la *Historia de la gloriosa vida y martirio de los gloriosos santos mártires Servando y Germano, patrones de la ciudad de*

Cádiz, Cádiz 1619.

Consta la obra de seis libros o partes diferenciadas. El libro primero contiene una descripción del entorno natural de la ciudad, y detalles sobre su fundación y primeros pobladores. El libro segundo se ocupa del dominio fenicio, cartaginés y romano. El libro tercero es un rápido repaso de la historia de la ciudad desde su pérdida por los romanos hasta finales del siglo XV. El libro IV es una descripción de las principales instituciones de la ciudad (justicia, aduana, Inquisición, población, comercio, monumentos, etc.). El libro V se dedica a las instituciones religiosas y, por último, el libro sexto describe los pueblos de la comarca próximos a Cádiz (Puerto de Santa María, Rota, Chipiona, Sanlúcar de Barrameda, Trebujena, Jerez de la Frontera, Medina Sidonia, Chiclana, etc.). El mayor interés desde el punto de vista climático reside en los capítulos descriptivos del entorno natural de la Ciudad de Cádiz y los pueblos próximos, con consideraciones generales sobre el comportamiento de los vientos y las mareas y alguna noticia aislada bien fechada.

La edición consultada es la editada por el Ayuntamiento de Cádiz en 1845, en la Imprenta de D. Manuel Bosch. Según la nota introductoria se trata de la transcripción del manuscrito original de 264 hojas en cuarto, propiedad de D. Bartolomé José Gallardo, quien lo cedió a D. Joaquín Rubio para su impresión y publicación. Se añadió un índice, una fe de erratas y una descripción de "Medallas Antiguas Gaditanas", junto con cinco láminas con reproducciones de las mismas, lo que da idea de la intención erudita de su editor.

HC-2. Memorial de la Villa de Utrera.

Un importante historiador y cronista sevillano de la época es Rodrigo Caro (1573-1647). Arqueólogo, historiador, poeta, abogado, vivió en Utrera (a unos 20 km de Sevilla) hasta 1628 y en Sevilla. Entre sus obras destacan las de carácter arqueológico y jurídico. Escribió un tratado titulado *De los nombres y sitios de los vientos*, que, según Menéndez Pelayo (1883), no tiene nada de meteorológico y es todo erudición poética y gramatical, pues el propio autor confiesa que "no he profesado matemáticas ni navegado en mi vida más que de Sevilla a Triana". El objeto de esta obra es filológico, concordar los nombres antiguos de los vientos con los modernos. En 1626 escribe a Quevedo

describiéndole la riada que sufrió Sevilla en Enero de 1626.

En *Memorial de la Villa de Utrera*, publicado en Sevilla en 1604, describe sucesos relativos a la ciudad durante el siglo XVI y los años 1600 y 1601. La obra se divide en cuatro libros, el primero de los cuales dedicado a la Itálica Romana. El Libro II cubre los sucesos históricos hasta la sequía de 1522. El libro III se dedica a personajes ilustres de la ciudad y su intervención en acontecimientos históricos hasta mediados del siglo XVI. El libro IV sigue el mismo esquema enlazando con la fecha de edición de la obra. Las fuentes de Caro son documentos diversos del Cabildo de Sevilla, de la Real Chancillería de Granada, de archivos privados y eclesiásticos, y fuentes de tradición oral a las que cita con frecuencia. Dado que se refiere a hechos y personajes de Utrera, ciudad en la que nació y vivió muchos años, tuvo un fácil acceso a los datos originales.

Aunque las noticias de índole meteorológica no son su centro de interés, sí destaca algunas de ellas, como la sequía de 1522, o las condiciones meteorológicas adversas de las campañas bélicas de Baza y Guadix en 1489, o de la Rebelión de los Moriscos en 1569.

La edición consultada fue publicada por la Sociedad de Bibliófilos Andaluces en Sevilla en 1883. Se trata del primer volumen de una serie dedicada a las *Obras de Rodrigo Caro*, que contiene, además de este texto, *Algunas memorias antiguas de Utrera*, *Relación de las inscripciones y antigüedad de la villa de Utrera*, las cuales no contienen noticias de interés para nosotros, y *Santuario de Nuestra Señora*, obra a la que nos referiremos más adelante. El texto del *Memorial*, editado por Marcelino Menéndez Pelayo, es copiado del códice propiedad de la biblioteca del Convento del Carmen de Utrera.

HC-3. Antigüedad y excelencias de Granada.

Francisco Bermúdez de Pedraza (1585-1655) nació en Granada y vivió en esta ciudad y en Madrid hasta 1635 en que volvió a su ciudad natal donde residió hasta su muerte. Historiador y jurista, en 1608 fue abogado de la Chancillería de Granada, además de tesorero de la catedral de Granada y catedrático de derecho. Entre sus obras destacan varias de carácter legal, su *Historia Eucharística*, Granada 1643, y, sobre todo, su *Historia*

Eclesiástica de Granada, Granada 1637, a la que nos referiremos después.

La *Antigüedad y excelencias de Granada* fue una obra juvenil, publicada en Madrid en 1608. Consta de cuatro libros, siguiendo el esquema propio del género. En el primero describe la ciudad y su entorno. En el libro II se refiere a los orígenes mitológicos de la ciudad. El libro tercero se dedica a las instituciones locales civiles y eclesiásticas y personajes ilustres de la ciudad. El libro IV consiste en una descripción detallada del proceso relativo a los Libros Plúmbeos del Sacromonte. Pedraza combina la información bibliográfica con la consulta en archivos y no desprecia la información oral, a la que alude en varias ocasiones. El texto aporta alguna información interesante sobre la vida local, organización social, instituciones personajes, etc. No sigue un orden cronológico estricto al modo de los Anales, y las informaciones meteorológicas son dispersas y fragmentarias, comprendiendo desde finales del siglo XVI hasta el año 1600.

Se ha consultado la edición facsímil editada por el Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental en Granada en 1981, con introducción de F. Izquierdo.

HC-4. Historia de Jaen.

Bartolomé Jiménez Patón (1569-1640), nació en Almedina (Ciudad Real) fue estudiante en la Universidad de Baeza, notario apostólico de los juicios de religión en el reino de Murcia y correo mayor de Villanueva de los Infantes, donde murió. Se dedicó principalmente a los estudios literarios y gramaticales escribiendo varias obras de gramática latina y castellana.

El texto que nos ocupa, *Historia de la antigua y continuada nobleza de la ciudad de Jaen*, fue publicado en Jaen en 1628. Es en realidad una obra de colaboración, pues Patón recibió varios borradores de Pedro Ordoñez de Ceballos (1556-1616?), notable ciudadano jiennense. La obra está actualizada hasta prácticamente el año de su edición, puesto que se citan sucesos de 1621, 1624 y 1627, lo cual delata o bien la presencia de Patón en Jaen o bien que tenía un asiduo corresponsal en esta ciudad. Destacan entre sus contenidos las vidas

de obispos y personajes de la ciudad y su reino, así como la genealogía de la nobleza, con muchos datos y noticias que pueden encontrarse en anales eclesiásticos, nobiliarios y otras obras diversas (Ortega y Sagrista, 1983). El principal interés de esta obra son los capítulos dedicados a la agricultura y sus productos, como el olivo y el aceite, aguas y clima, con especial referencia a las frecuentes sequías que sufrió la región.

Se ha consultado la edición facsímil publicada por Riquelme y Vargas Ediciones en Jaen en 1983, con un breve estudio preliminar a cargo de Rafael Ortega y Sagrista, miembro de la Real Academia de la Historia.

HC-5. Historia de Huelva.

En 1762 Juan Agustín Mora Negro y Garrocho, perteneciente a una noble familia local, publica en Sevilla *Huelva ilustrada. Breve historia de la antigua y noble villa de Huelva*. El autor fue abogado de los Reales Consejos y canónigo de la Iglesia Colegial de San Salvador de Sevilla. Sus vínculos familiares le permitieron mantener un contacto directo y continuado con la ciudad de Huelva, como él mismo indica. Ya entrado el siglo XVIII, los criterios historiográficos tendían a una revisión crítica de los hechos narrados. De hecho, el autor añadió a su obra un apéndice donde recogía las noticias adquiridas después de impresa la obra. El texto inicial consta de trece capítulos donde se tratan los temas habituales en este género, antigüedad de la ciudad, descripción, instituciones, etc. El apéndice consta de tres capítulos destinados a glosar la personalidad de algunos de los personajes ilustres naturales de la ciudad. El interés de este texto es menor, dada su brevedad y la lejanía en el tiempo respecto a los hechos narrados. No obstante, es un buen ejemplo de la pervivencia del género en el siglo XVIII. Se ha consultado la edición facsímil publicada por la Diputación Provincial de Huelva en 1987.

Historias generales

HG-1. Anales de la Corona de Aragón.

Jerónimo de Zurita (1512-1580), secretario de la Inquisición en Madrid hasta 1547, fue luego designado cronista oficial por las Cortes de Aragón. Dedicado a esta labor de

historiógrafo recorrió Aragón, Italia y Sicilia, consultando los archivos públicos y privados de estos países. Por encargo de Felipe II recopiló todos los documentos que después pasarían a formar el archivo de Simancas. Entre sus obras podemos destacar la *Historia del rey Don Hernando el Catholico. De las empresas y ligas de Italia*, Zaragoza 1580, y las obras póstumas *El Indice de las cosas mas notables que se hallan en la Historia de Aragón*, Zaragoza 1604; *Enmiendas y advertencias a las crónicas de Castilla*, Zaragoza 1683. Pero su obra más importante es los *Anales de la Corona de Aragón*, en cuya elaboración empleó más de treinta años.

La primera edición de esta obra apareció en 1562, y a lo largo del siglo XVI y XVII conoció sucesivas reimpresiones. Según su editor (Canellas, 1976) las verificaciones realizadas avalan la fiabilidad de Zurita, hasta el punto de que los *Anales* han adquirido categoría de fuente fidedigna de primer orden. La fidelidad de Zurita a sus fuentes se evidencia en la reproducción literal de las mismas a lo largo de la obra. La obra se divide en XX Libros que comprenden el periodo 711-1492. Para nuestros propósitos hemos consultado los libros XIV al XX, que comprenden desde el año 1431 al 1492.

El interés principal de esta obra desde el punto de vista paleoclimático reside en la ampliación de la cobertura espacial de las informaciones a Italia y el Mediterráneo para el siglo XV, así como en el tratamiento de la Guerra de Granada en la década 1482-1492. Se comprueba así, la fidelidad de un autor ya mencionado, Jorquera, quien, en la segunda parte de sus *Anales de Granada* utiliza a Zurita como fuente en varias ocasiones.

Se ha consultado la edición preparada por Angel Canellas López y publicada por la Institución "Fernando el Católico" (C.S.I.C) en Zaragoza en 1976.

HG-2. Historia General de España.

Entre las obras historiográficas de mayor interés para la Península Ibérica se encuentra la *Historia General de España* publicada en 1623 por el historiador Juan de Mariana (1536-1624). Residió en Roma desde 1561 hasta 1582, donde ejerció de Consejero del Santo Oficio. En 1623 sería nombrado "cronista real" por Felipe IV. Además de obras

de carácter teológico y filosófico fue autor de una *Historia Eclesiástica de España* publicada en 1605. Escribió primero su historia en latín, y luego la tradujo al español él mismo. Historiador muy fiable y ampliamente documentado (Ballesteros, 1972), añadió al plan original de la obra, que terminaba en la Guerra de Granada, un apéndice que comprende el periodo 1515-1621, y que fue completado en sucesivas ediciones. Así, la edición de 1617 contempla hasta el año 1612, y la edición de 1623 contempla hasta 1621. El objeto de estudio histórico de esta obra es toda España, sin olvidar los sucesos climáticos extremos que afectaron a la geografía peninsular de manera especialmente impactante las dos primeras décadas del siglo.

Se ha consultado la edición en 10 volúmenes publicada por la Real Bibliotheca en Madrid en 1794. La época de interés para nosotros comprende los Libros XXIII al XXX de la obra de Mariana, desde 1482 hasta 1516, y el "Sumario" añadido por el autor, que de forma resumida abarca desde el año 1515 hasta 1621.

HG-3. Continuación de la Historia General de España.

La obra del jesuita Juan de Mariana conoció múltiples reimpresiones, reediciones y ampliaciones. Una de ellas se debe a José Manuel Miñana (1671-1730) religioso mercedario, profesor de retórica y latín, dedicado principalmente a los estudios históricos. Su obra principal es la *Continuación de la Historia General de España*, publicada por primera vez junto a la obra de Mariana en La Haya en 1733, que escribió en latín y abarca el periodo 1516-1600. Constituye, pues, esta obra, una ampliación de las escuetas informaciones recogidas por Mariana en su "Sumario". Está dividida en diez libros que comprenden los reinados de Carlos V (Libros I a III), Felipe II (IV-VII) Felipe III y Felipe IV (VIII- X).

Desde un punto de vista climático presentan especial interés los capítulos dedicados a la conquista y colonización de América, con múltiples descripciones de las condiciones de navegación por el Atlántico: tormentas, vientos predominantes, etc. No obstante, su lejanía en el tiempo, y el hecho de haber consultado una traducción al español del texto original, escrito en latín, le restan valor como fuente paleoclimática.

La edición consultada fue publicada por La Real Bibliotheca en Madrid junto a la obra de Mariana en 1794. La traducción al castellano fue realizada por Vicente Romero, escribiente primero de la Secretaría de Estado y del Despacho de Hacienda de Indias.

HR-1. Santuario de Nuestra Señora.

Rodrigo Caro, autor del que hemos hablado anteriormente, publicó esta obra en Osuna en 1622. El texto se dedica a la patrona de la Villa de Utrera y presenta poco interés por los fenómenos climáticos, a excepción de la sequía de 1604-5, descrita con detalle, y de la que el autor fue testigo presencial. La edición consultada es la citada anteriormente, preparada en 1883 por M. Menéndez Pelayo.

HR-2. Historia Eclesiástica de Granada.

F. Bermúdez de Pedraza, autor ya mencionado, publicó en Granada en 1637 su *Historia Eclesiástica de Granada*. En este texto sigue la historia de la vida religiosa de la ciudad (arzobispos, conventos, fundaciones, etc.) en orden cronológico. El autor pretende además con esta obra ampliar y perfeccionar su texto de 1608. Del periodo que nos interesa se da cuenta en la cuarta parte de la obra, que comprende el periodo 1492-1633. Se ha consultado un ejemplar de la edición original, propiedad de la Biblioteca de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Granada (Signatura A-4-14).

HR-3. Crónica de la Provincia Franciscana de Granada.

Alonso de Torres (1633-1683?), cronista oficial de la orden franciscana desde 1676, publicó en 1683 la *Crónica de la Provincia Franciscana de Granada*. La "provincia" comprendía Andalucía Oriental y el valle alto del Guadalquivir hasta la ciudad de Córdoba y las estribaciones de Sierra Morena y la cordillera penibética. El periodo cubierto por la obra es 1583-1681. El texto se centra en la evolución de los conventos y monasterios de la época, para cada uno de los cuales sigue un orden cronológico. Su potencial interés se ve en cierta medida frustrado por la escasa aparición de fenómenos climáticos bien fechados y

localizados, aunque son numerosas las referencias al "rigor" del invierno o al "excesivo calor" del verano. La intención hagiográfica del texto seguramente habrá desvirtuado la realidad de muchos de los fenómenos descritos, presentándolos como duras pruebas a las que eran sometidos los miembros de la orden, con el fin de demostrar su espíritu de sacrificio y grado de santidad. No obstante, recoge algunos fenómenos encontrados en otros textos, como la sequía de principios del siglo XVII, la tormenta del 28 de Agosto de 1629 en Granada o la sequía de comienzos de los años 1680s.

Se ha consultado la edición facsímil publicada en Madrid en 1984 por la editorial Cisneros, con introducción e índices de Rafael Mota Murillo.

Relaciones, correspondencia, libros de viajes

R-1. Viaje por España y Portugal. Reino de Granada.

Jerónimo Münzer (¿-1508), doctor en Medicina por la Universidad de Pavía y residente en Nüremberg, huyó de esta ciudad en 1494 a causa de una epidemia y relizó un viaje por España y Portugal enviado por el emperador Maximiliano para comprobar la transformación de España operada por los Reyes Católicos, del cual este texto es un relato pormenorizado. La visita al Reino de Granada supone una cuarta parte del relato total y se produjo durante el mes de Octubre de 1494, desde el día 16 en que se encuentra en Vera, en la actual provincia de Almería, hasta el día 29 en que culmina su itinerario en Málaga. A juicio de su editor, el viaje de Jerónimo Münzer es el más interesante viaje por España de la Edad Media. Su interés paleoclimático radica en sus descripciones de paisajes así como en su descripción de las condiciones meteorológicas que encontró a lo largo de su recorrido.

La edición consultada es la publicada en Granada por ediciones TAT en 1987 a cargo de Fermín Camacho Evangelista. No es una edición íntegra, recogiendo tan sólo la parte correspondiente al Reino de Granada.

R-2. Naufragio de la Armada española en La Herradura.

El título completo de este texto es *Naufragio de la Armada Española en La Herradura (Almuñecar). Aportación documental*. Constituye una selección de documentos, relaciones y correspondencia oficial, en relación con el naufragio que asoló la flota española el 19 de octubre de 1562 en las costas mediterráneas andaluzas. Publicado en Granada en 1974 por el Ayuntamiento de Almuñecar y la Diputación Provincial de Granada, la edición corre a cargo de la profesora de la Universidad de Granada María del Carmen Calero Palacios. La edición incluye varios documentos inéditos extraídos del Archivo General de Simancas, el Archivo de la Alhambra de Granada, el Archivo Histórico Nacional, el Archivo Municipal de Granada y la Biblioteca Nacional, entre los que se encuentran relaciones de testigos presenciales y correspondencia oficial previa y posterior al suceso. El conjunto de documentos abarca desde noviembre de 1561 hasta abril de 1569, e informa principalmente sobre las condiciones de navegación, vientos y estado de la mar, en el Mar Mediterráneo, incluyendo las costas de Italia y del Levante español, además de un detallado relato del suceso a través de varias relaciones de testigos presenciales, que será analizado en un capítulo posterior de esta Memoria.

R-3. Relaciones históricas de los siglos XVI y XVII.

Existen numerosas compilaciones y colecciones de documentos históricos, entre las cuales podemos citar el *Memorial Histórico Español. Colección de Documentos, Opúsculos y Antigüedades* publicado por la Real Academia de la Historia, Madrid 1851, y el CODOIN o *Colección de Documentos Inéditos*, Madrid 1867, que permanecen todavía inexploradas a efectos paleoclimáticos. Una selección de los mismos fue publicada por la Real Sociedad de Bibliófilos Españoles, Madrid 1896, en edición a cargo de F.R. de Uhagón. Estas relaciones eran con frecuencia cartas dirigidas a personas principales para informar de diversos sucesos en una época en la que todavía no existía la prensa periódica. Las que tenían un carácter oficial se imprimían en Madrid y se lanzaban al público. Las imprentas de las capitales más notables, como Sevilla, Barcelona, Zaragoza y Valencia, las reimprimían a su vez, aumentando la circulación de la noticia. Otras, en cambio, tenían carácter privado. Según el editor, las relaciones recogidas fueron escritas casi siempre por testigos presenciales. No

todas son de índole climática, pero pueden recoger, aunque sea tangencialmente, descripciones o menciones a fenómenos meteorológicos. En total son 31 relaciones que cubren ambos siglos y abarcan a toda la Península.

R-4. Impresos del siglo XVII.

José Simón Díaz, paleógrafo y bibliógrafo, autor de diversas recopilaciones bibliográficas, publicó este texto en Madrid en 1972, en edición del Instituto Miguel de Cervantes, C.S.I.C. Comprende el volumen la descripción de un gran número de documentos del siglo XVII pertenecientes en su mayoría a la Biblioteca Nacional de Madrid. Aunque no hemos podido consultar directamente las relaciones que cita, a continuación damos las de índole meteorológica, dado que el título es suficientemente explicativo en cuanto al carácter del fenómeno, su fecha y localización geográfica. Esto, unido al carácter de inmediatez con el suceso de las relaciones, permite utilizar la obra de Simón Díaz a efectos de contrastación y validez de otras informaciones aparecidas en otras fuentes. Dividimos las relaciones que menciona Simón Díaz en aquéllas relativas a Andalucía y a otros lugares de la Península. Incluimos la signatura topográfica correspondiente al archivo de la Biblioteca Nacional (Mad-Nac.) Biblioteca Colombina (Sev-Colombina), y Biblioteca de la Universidad de Sevilla (Sev.Univ.)

a)Andalucía.

SPANOQUI, TIBURCIO: *Parecer que dió... a la Muy noble y muy leal Ciudad de Seuilla sobre los Reparos que convienen para la inundacion del Rio Guadalquivir.* Sevilla, 1604
Mad-Nac.R-Varios,31-12

SERRANO DE VARGAS, IUAN: *Relacion de la grande rryna que ha hecho el rio Guadalquivir en Seuilla, Triana y sus riberas, Alcolea y Cordoua: y assi mismo la que hizieron los rezios ayres, arroyos y rios en Granada, Ecija, Anduxar, Loxa, Antequera, Sanlucar y otras partes de Andaluzia.* Sevilla, 1618 Mad-Nac. R-Varios, 34-31

LEON GARABITO, MELCHOR DE: *Discvrso tragico de el grande Diluuiio y portentosas*

avenidas, sucedidas en la muy noble Ciudad de Seuilla, desde 25 de Enero hasta 16 de Febrero de... 1626. Mad-Nac. R-Varios, 59-80.

HINOJALES Y RIBERA, JUAN BAUTISTA DE: *Verdad, cierta de la ryna lamentable, mvertes y estragos que causó el impensado diluio, el Sabado en la noche 23 de Setiembre de 1628. Malaga, 1628. Mad-Nac. R-Varios, 62-48.*

RELACION de la Tempestad y Diluio que sobrevino este año de mil y seyscientos y veynte y nueve a veynte y ocho del mes de Agosto dia de San Agustin en la Ciudad de Granada. Mad-Nac. R-Varios, 180-49

RELACION verdadera, donde se da cuenta de la inundacion de la ciudad de Malaga el día 22 de Septiembre deste año de 1661. Mad-Nac. R-Varios, 59-69

RELACION verdadera de los daños que en la ciudad de Cádiz y su bahia cavso el huracan y contrastes de viento, que sobrevino el Domingo de Laçaro 15 de Março, año de 1671. En casa de la viuda de Iuan Lorenço Machado, por Iuan Vejereno. Mad-Nac. R-Varios, 69-61.

RELACION verdadera, y copia de carta, escrita de la Ciudad de Cadiz a esta corte, donde declara el lamentable sucesso de dicha Ciudad de Cadiz, con el Huracan, que le sobreuino en 15 de Março deste presente año de 1671. Mad-Nac. R-Varios, 69-26.

RELACION verdadera y copia de carta escrita por vn Cauallero de Seuilla a vn amigo suyo en esta Corte, en que le dá quenta de la inunndacion que ha padecido esta Ciudad este Invierno, por espacio de tres meses... 1684 Mad-Nac. R-Varios, 100-15.

b) Otros lugares de la Península Ibérica.

RELACION cierta de la gran crecida que tuvo y ruyna que causó el Tormes en la ciudad de Salamanca, en 26 de Enero deste Año de 1626. Mad-Nac. V-224-9.

SVCESSOS de la grande y furiosa avenida del rio Tormes, Daños y ruynas que causó en la ciudad de Salamanca y sus arrabales. Escrita por un estudiante en aquella Vniversidad. Sev-Univ. 109/85-78.

RELACION del Suceso del Dilubio, que en esta ciudad de Burgos sucedió el dia de San Blas tres de Febrero de 1636.

Burgos, Pedro de Huidobro, 1636. Mad-Nac. R-Varios, 180-24.

SVCESSO lastimoso qe en la Ciudad de Valladolid ha causado la inundacion del Rio Pisuerga, y la Esgueua, que va por dentro y fuera de la ciudad, desde el Lunes de Carnestolendas por la mañana, que fue quatro de Febrero hasta el Martes en todo el día deste año de 1636. Mad-Nac. R-Varios, 66-43.

RELACION de lo svcedido en la villa de Bilbao y otras partes, Viernes ocho de Setiembre deste año de 1651 dia del nacimiento glorioso de nuestra Señora, con los recios temporales de las aguas. Mad-Nac. R-Varios, 43-81.

RELACION de la grande invndacion que el rio de Segvra ha hecho en la Ciudad de Murcia y otros lugares de aquel Reyno, Svcedia desde el miercoles cinco de Noviembre, hasta el Viernes siete del dicho mes, Año de 1653. Mad-Nac. R-Varios, 59-68.

RELACION verdadera, en qe se refieren las rezias tempestades y avenidas que han sucedido en Madrid... desde el Iueves 26 de Setiembre... de 1680 hasta el Sabado 28 de dicho mes. Mad-Nac. R-Varios, 69-66.

HINOJOSA, IULIO ALBERTO DE LA: Carta escrita de la Ciudad de Lisboa á vn Cavallero desta Corte, en 28 de Septiembre deste año de 1680 en la qual se dá cuenta de como se abrió vn Huracan por tres vezes á vista de todos, bomitando mucho fuego por tres dias consecutivos. Los truenos y relampagos que se causaron, efectos grandes que dellos se siguieron; aviendose visto caer vna gran bestia de vna nube, á quien siguieron muchos alentados Cavalleros y viendola pacer en los prados no pudo ser avida á las manos por mas diligencias que hizieron y de como la cota era de tres colores y lo que significan. Mad-Nac.

R-Varios, 24-8.

RELACION verdadera, en que se refiere el lastimoso estrago que el Viernes 24 de Octubre deste años de 1681 hizo vn Rayo, que cayó sobre la Aguja y Cimborrio del Real Convento de San Lorenço en el Escorial, y assimismo se dá cuenta de vna grande Tempestad, y Avenida que ha padecido la Villa de Montiel con mucha perida de sus Moradores, con otras particularidades que contiene esta Relacion y verá el Curioso. Mad-Nac. R-Varios, 24-6.

R-5. Relacion del admirable huracan... Ciudad de Granada.

También mencionada por Simón Díaz, consideramos aparte esta relación puesto que hemos podido consultar el original directamente en la Biblioteca de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Granada (signatura F-1-1-9). El título completo de la relación es *Relacion del admirable huracan y espantoso terremoto de agva, y viento (que por secretos juyzios de Dios Nuestro Señor) vino sobre la ciudad de Granada. Dase cuenta de las muertes y perdidas y diligencias que el Señor su Arçobispo con sus limosnas hizo y trabajos q el Señor Corregidor, y Real Audiencia, y todos los Ministros passaron para el remedio della en este año de 1629*. La relación fue publicada en español en Sevilla el mismo año y consta de cuatro páginas donde, tal y como indica su título, aparte de las descripción del fenómeno, con especificación de la hora de la tormenta, duración y efectos, se detallan las acciones de socorro emprendidas por las diversas autoridades civiles y eclesiásticas de la ciudad.

Registros de la administración civil y eclesiástica

A-1. Noticias históricas de Loja hasta el año 1600.

El texto que comentamos es una edición preparada por los historiadores R. del Rosal Pauli y F. Derqui del Rosal, basándose en los Libros de los Cabildos civil y eclesiástico de la ciudad de Loja, en la actual provincia de Granada. El título completo es *Noticias históricas de la ciudad de Loja (Desde sus orígenes hasta el año 1600)*. Fue publicado conjuntamente por el Ayuntamiento de Loja y la Diputación Provincial de Granada el año 1989. Consiste esencialmente en una transcripción del contenido de los libros de acuerdos del cabildo municipal de la ciudad, desde el año 1488 hasta el 1600, ambos inclusive. Sigue un esquema

muy similar al de los Anales urbanos, ordenado cronológicamente por años, con información relativa a sucesos meteorológicos, obras de infraestructura urbana, precios del cereal, evolución de las cosechas, etc.

A-2. Libros de Cabildo del Archivo Municipal de Granada.

Los libros de actas del Cabildo Municipal de Granada constituyen una de las fuentes más fiables sobre los sucesos que afectaban a la ciudad, pues en ellos se recogían con puntualidad y prontitud las actuaciones oficiales emprendidas en aspectos como obras públicas, nombramientos oficiales, regulación del comercio y de los precios del mercado, y actuaciones para afrontar los fenómenos meteorológicos de mayor impacto. El Cabildo se reunía normalmente más de dos días por semana, predominando sobre todo las reuniones de los martes y los viernes (Saez Antequera, 1988). Estos textos, con una precisión temporal de al menos una semana, ofrecen un importante elemento de contrastación para la validez de otros tipos de fuentes. Se han analizado las ediciones críticas (estudio preliminar, inventario de los libros de actas, índices de materias, geográfico y onomástico) preparados por las profesoras de la Universidad de Granada R. Jiménez Vela (1987) y M. A. Sáez Antequera (1988), que, en conjunto, cubren los siguientes periodos de tiempo:

Libro IV. Del 7.12.1518 al 18.3.1522.

Libro V. Del 31.12.1555 al 28.1.1557.

Libro VI. Del 29.12.1565 al 23.12.1566.

Libro VII. Del 29.12.1603 al 24.12.1604.

Libro VIII. Del 30.12.1613 al 24.12.1614.

Libro IX. Del 29.12.1617 al 22.12.1618.

A-3. Historia de Málaga.

Bajo el título *Historia de Málaga (Anales del Cabildo Eclesiástico Malagueño)* se publica en Granada en 1988 esta selección de textos a cargo de Andrés Llordén. Constituye un conjunto de documentos y actas del archivo eclesiástico de la Ciudad de Málaga. Cubre un periodo comprendido entre el año 1561 y el presente, pero presenta numerosos huecos, debido a que no es una edición exhaustiva del contenido del archivo, sino una selección

realizada por un historiador no especialmente interesado en los fenómenos meteorológicos. No obstante, recoge diversas noticias de interés, sobre todo respecto a sequías e inundaciones.

A-4. Relaciones... de Felipe II.

El conocimiento geográfico-estadístico del reino era indispensable para la obra de gobierno ya en el siglo XVI (Viñas, 1951). Buena prueba de ello son las *Relaciones Topográficas de los Pueblos de España* ordenadas por Felipe II hacia 1575 (Viñas y Paz, 1971). Consisten en un cuestionario enviado por la corona a los distintos pueblos y villas con objeto de recopilar información sobre aspectos tan variados como posición geográfica, dependencia jurídico-administrativa y eclesiástica, productividad afrícola y ganadera, edificaciones, población, historia y clima. Así, la pregunta 17 se refiere a la "calidad de la tierra en que está dicho pueblo, si es tierra caliente o fría, llana o serranía, rasa o montuosa y áspera, sana o enferma" y la cuestión 23 pregunta "si es abundoso o falto de aguas". Las contestaciones, redactadas entre 1575 y 1580, muy a la ligera y superficialmente (Javira, 1950), reportan, sin embargo, algunas noticias de interés.

La edición utilizada es la de Carmelo Viñas y Ramón Paz, titulada *Relaciones histórico-geográfico-estadísticas de los pueblos de España hechas por iniciativa de Felipe II*, publicada en varios volúmenes por el Instituto de Sociología "Balmes" y el Instituto de Geografía "Juan Sebastián Elcano" (C.S.I.C.), Madrid, 1971. La edición del manuscrito original custodiado en la Biblioteca de El Escorial incluye la reproducción facsímil de los cuestionarios enviados por los ministros de Felipe II los años 1575 y 1578. Es de destacar que del conjunto de contestaciones sólo han sobrevivido las relativas a Castilla la Nueva (provincias de Madrid, Toledo y Ciudad Real).

A-5. Atlas de Historia Económica de la Baja Andalucía.

En 1986, Editoriales Andaluzas Unidas publican en Granada el *Atlas de Historia Económica de Andalucía (Siglos XVI-XIX)*, elaborado por el historiador hispanista francés

Pierre Ponsot, con prólogo de A. Domínguez Ortiz. Basándose en datos recogidos en el Archivo Histórico Nacional, Biblioteca Nacional, Archivo de Indias, Real Academia de la Historia, archivos diocesanos (episcopales) de Córdoba y Cádiz, archivos capitulares (catedralicios) de Sevilla, Córdoba y Cádiz, archivos señoriales de Medinaceli, Medina Sidonia, Frías, Fernán Nuñez, Osuna, Arcos, archivos de administraciones locales, archivos parroquiales, etc., el autor P. Ponsot elabora una obra que podemos calificar de monumental, donde recoge en cifras datos sobre población y demografía, producción agrícola, rendimientos agrícolas, precios, rentas, utilización de los suelos, actividades artesanales y comerciales, relativos a la Baja Andalucía, marco geográfico que comprende básicamente el Valle del Guadalquivir y las estribaciones colindantes de Sierra Morena, junto con el litoral atlántico de las provincias de Huelva y Cádiz. La recopilación de datos es de tal magnitud que no ha podido estudiarse exhaustivamente desde una perspectiva paleoclimática. Sin embargo, se han analizado algunas de las series más representativas, de mayor longitud y con menos huecos a lo largo del registro.

Escritos protocientíficos, filosóficos y religiosos

P-1. Canto a la Naturaleza. F.L. de Granada.

Fray Luis de Granada (1504-1588), escritor ascético, escribió varias obras de carácter teológico en latín, portugués y español, destacando su obra *Introducción al símbolo de la fe* (1583). El texto consultado es una selección de textos realizada por el profesor de la Universidad de Granada Urbano Alonso del Campo, publicada por la Universidad de Granada en 1991. Se trata de una selección de aquéllos fragmentos de la *Introducción al símbolo de la fe* relativos al entorno geográfico de la ciudad, la descripción de los fenómenos naturales y el mundo animal, con propósitos religiosos. Este texto constituye un buen exponente de las concepciones científicas clásicas imperantes en la época, así como del conocimiento empírico de los fenómenos meteorológicos asociado a los ritmos estacionales y la agricultura.

P-2. De los Tres elementos. T. López-Medel.

Tomás López Medel (1520, 1582), jurista, partió en agosto de 1549 hacia América, donde desempeñó diversos cargos de carácter jurídico que le permitieron recorrer Guatemala,

San Salvador, México y Colombia, hasta su regreso en 1562. Hacia 1570 empezó a escribir su obra *De los Tres Elementos. Tratado sobre la Naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo*. En esta obra, se ofrece una información sistemática y ordenada sobre la naturaleza y el hombre del Nuevo Mundo. Constituye un buen ejemplo de la numerosa literatura que surgió en el siglo XVI como consecuencia del descubrimiento, conquista y colonización de América, y de la percepción que de los fenómenos meteorológicos se tenía en la época. La edición utilizada es la publicada por Alianza Editorial, Madrid 1990, con estudio preliminar, transcripción del original y notas a cargo de Berta Ares Queija, de la Universidad Complutense de Madrid.

P-3. Historia natural y moral de las Indias. J. de Acosta.

José de Acosta (1540-1600) sería enviado por los jesuitas a América en 1571, destinándole a las misiones de los Andes. Recorrió Perú, y Méjico durante diecisiete años y regresó a Europa en 1588. Autor de diversas obras en español y latín sobre temas religiosos e históricos, su obra más importante es la *Historia Natural y Moral de las Indias*, obra iniciada en América y publicada en Sevilla en 1590. Según su editor (Alcina Franch, 1987) es una obra de racionalismo prematuro, que abrió cauces nuevos a la lógica y a la explicación de los fenómenos nuevos que ofrecía el nuevo continente, con puntos de vista novedosos, y que contribuiría al perfilamiento y el avance de la ciencia moderna. El papel de Acosta es de gran relevancia en el contexto cultural y científico de su época, y son notables sus aportaciones al conocimiento meteorológico y climático, como por ejemplo los conceptos de densidad del aire, relación entre radiación solar y temperatura del aire, viento local y brisas, lluvias convectivas, masas de aire, distinción entre vientos locales y generales, ideas sobre la circulación general de la atmósfera, etc. (Blasco, 1987; Font Tullot, 1988). Acosta sintetiza las concepciones científicas que sobre el clima se tenían en su tiempo (zona latitudinal, conjunto de condiciones medioambientales), a las que añade particularidades de tipo geográfico como la proximidad al océano, la altitud o el régimen de vientos. La edición consultada es la publicada en 1987 por Historia 16, Madrid, en edición, introducción y notas del catedrático de arqueología americana de la Universidad Complutense de Madrid José Alcina Franch.

P-4. Otras.

Otras fuentes se han utilizado de manera menos exhaustiva, es decir, mediante lecturas incompletas, consultas puntuales, uso de índices, etc., para determinados aspectos complementarios, con el fin de precisar el contexto cultural de la época que nos interesa. Entre estas fuentes, destaca el *Diccionario de Autoridades*, primer diccionario de la Real Academia de la Lengua, publicado en 1726, y editado en versión facsímil en tres volúmenes por Editorial Gredos, Madrid 1984.

Compilaciones modernas

C-1. Quince siglos de clima andaluz. J.M. Fontana Tarrats.

Este texto constituye, tanto desde el punto de vista espacial como temporal, un conjunto heterogéneo de noticias, centrado en los siglos XVI y XVII, con informaciones locales junto a generalizaciones para toda la región, y precisión temporal que abarca desde el día (caso de tormentas e inundaciones) hasta imprecisos periodos de varios años (caso de las sequías). No se aprecia una actitud crítica hacia la fiabilidad y validez de las informaciones, con referencias en muchos casos incompletas sobre los autores, sus obras y periodos de tiempo cubiertos. Esta actitud acrítica se percibe claramente, por ejemplo, cuando el autor señala como desconcertante el clima del año 1604, pues acepta sin revisión un error de datación cometido por Jorquera en sus *Anales de Granada*. El texto más bien parece un borrador que una obra definitiva y sus informaciones deben considerarse con cautela. El autor no aporta mucha información sobre sus fuentes, entre las que podemos destacar como las más fiables, entre otras, los archivos municipales de Loja, Huelva, Jerez y Arcos de la Frontera, los Libros de Actas del Archivo Municipal de Córdoba y las *Memorias* de Andrés Bernáldez (1450-1513), historiador y cronista, autor de una *Historia de los Reyes Católicos Don Fernando y Doña Isabel*, editada por primera vez en 1856.

El texto consultado es una edición del propio autor, con correcciones manuscritas en sus márgenes, propiedad de la Biblioteca de Andalucía (signatura 1-C-751).

C-2. Historia del clima de España. I. Font Tullot.

Este texto se basa principalmente en los textos manuscritos y borradores inéditos de Fontana Tarrats relativos a casi todas las regiones españolas. En consecuencia, los principales problemas que se dan en la obra de Tarrats (imprecisión espacio-temporal, análisis incompleto de las fuentes, carácter cualitativo de las informaciones) se reproducen. No obstante, aparece ya una organización de los datos, por regiones geográficas, cuencas hidrográficas, décadas y tipología de las informaciones (térmicas y pluviométricas). Incorpora, además, análisis sinópticos y comparaciones con situaciones actuales.

C-3. Otras.

Incluimos en este apartado fundamentalmente algunos trabajos y artículos aparecidos en revistas especializadas en el campo de la geografía y la historia económica, realizados por investigadores cualificados. Estos trabajos poseen información sobre años o periodos concretos, y sobre fenómenos específicos, como, por ejemplo, el comercio de la nieve o la producción agraria. En cada caso, se referencian en el lugar oportuno a lo largo de esta Memoria.

APENDICE II

EJEMPLOS DE REGISTROS CODIFICADOS

La estructura de los registros es la siguiente:

AÑO, ESTACION, MES, DIA; REGION, LUGAR; FUENTE, PAGINA; CLAVES
TEXTO
NOTA (opcional)

Se muestran varios ejemplos, ordenados cronológicamente, que recogen el tratamiento seguido con los diferentes tipos de noticias y niveles de precisión espacio-temporal.

1521, 1; R4, Granada; A2; 12

1521, marzo, 12. Se habló que a causa de no haber llovido este invierno, los panes tienen necesidad de agua, se acuerda que no se rieguen las heredades hasta regarse los panes.

1540, 2; R1, Sevilla; AU3, vol.3, pg 380; 12

Sevilla entretanto por tardanza de aguas en la primavera, que amenazaban esterilidad, hacia procesiones

1540, 2, 3, 29; R1, Sevilla; AU3, vol.3, pg 380; 13

... y Lunes 29 de Marzo, segundo día de Pascua de Resurrección, sacáron con gran concurso la santa imágen de nuestra Señora de los Reyes; y se atribuyó á milagro suyo oportunas lluvias que presto sucediéron.

1555, 1, 12-1, 31-1; R1, Córdoba; R3, pg 39; 15, 322

Llovió tanto como en toda una semana, que no cesaba estas dos noches de los días que digo. Entre doce y una tronó muy recio, con recios relámpagos. Martes por la mañana a las seis horas hasta las ocho, que son dos horas, creció el río tanto... El venir de la creciente no duró más de dos horas... Los dos días y noches que llovió, no cesaron los aires, tan recios que no había quien no temblase de verlos.

1562, 4, 10, 18; R5, Málaga; R2, pg 197; 311, 322? , 14?

Domingo en la noche a los diez y ocho de octubre rendida la prima el capitan general Don Juan de Mendoza viendo que avia mal semblante y el tiempo borrascoso y la mar que picaba de levante desde el sabado a mediodia partió de Málaga con veintiocho galeras...

1562, 4, 10, 19; R4, Zenete; R2, pg 232; 322

Muy ilustre señor: Jheronimo el Maleb mayordomo de la muy ilustre señora marquesa de el Cenete e mi señora en su marquesado de el Cenete en nombre de los consejos y vecinos del dicho marquesado por virtud de estos poderes que ante vuestra señora presento digo que ya vuestra señoría sabe y a todo este reyno es notorio y por tal lo alego la tempestad de ayre e desventura o caso fortuito que hubo en este reyno de Granada en la mar y en la tierra en el mes de octubre proximo pasado de el año de mil y quinientos y sesenta y dos quando se perdieron las galeras y armadas de España y es ansi que aunque en todas partes d'este reyno la dicha tempestad o caso fortuyto fue gravisimo, mayor y señaladamente lo fue en el dicho marquesado del Cenete porque allende de las casas y otros muchos arboles que derribo el ayre señaladamente derribo las dos tercias partes de todos los morales y castaños del dicho marquesado que son las dos principales cosechas de que los vecinos de el dicho marquesado se aprovechan de manera que todas las haziendas de el dicho marquesado an venido en gran disminucion y menoscabo...

1571, 2; R1, Sevilla; AU3, vol.4, pg 57; 12

Había pasado la primavera de este año con gran falta de lluvias, que amenazaban total pérdida de las sementeras, y se procuró aplacar la ira divina con procesiones y plegarias muy repetidas...

1590, 3, 6, 21; R4, Granada; AU1, vol.2, pg 532; 13, 22, 40

Jueves veinte y un dia deste dicho mes de junio deste año se celebró en toda la iglesia universal y católica la fiesta del Córpus Cristi: fue el día muy apacible y sereno.

1599, 4; R4, Loja; A1, pg 363; 11

... en el otoño los pilares públicos están secos...

1605; R4, Granada; AU1, vol.2, pg 540; 11

La cosecha de trigo en general fue en este año muy corta en el Andalucía y en particular en esta ciudad de Granada por la gran seca y falta de agua, que no se sembraron los secanos y si se sembraron se perdió la simiente. Cogióse algún trigo en los riegos de la Vega, aunque llegó a valer un riego veinte y veinte y cinco ducados y no se alcançaba porque las fuentes no daban agua y los ríos se medio secaron. Murió mucho ganado por la falta de las yeruas; empeçó a tomar valor el trigo y el pan se subió en Granada y se iba subiendo cada día...

1605, 1, 12-1-2; R1, Utrera; HC2, pg 36-37; 12

... el año de 1605, que fue esterilísimo, y no llovió gota en tres meses, que fueron Diciembre, Enero y Febrero; con lo cual, el trigo llegó a valer en Sevilla á cien reales, y en esta villa á siete ducados, y andaba ya la gente pobre tan falta de mantenimiento que se temió que juntos en cuadrilla acometieran á las casas de los ricos donde sabían que había trigo.

1614, 4, 9, 21; R4, Granada; AU1, vol. 2, pg 595; 15

En veinte y un dia de setiembre de este año, dia del glorioso apostol y evangelista San Mateo a las quatro de la tarde, se levantó un torbellino de agua en los montes y sierras de Granada, por la parte de Huetor de Santillana, Fargue y Sierra de Alfacar, y fué tan recia el agua, aunque duró poco, que el rio Darro creció tan de improviso y entró tan furioso en la ciudad de Granada que causó grande admiración a sus vecinos, por ser tan repentina su creciente. Hiço mucho daño en las huertas y vegas de Granada; llevose todas las presas de los molinos y en el lugar de Alfacar creció el arroyo en tanto grado que se entró por las puertas del horno grande rompiendo por el corral, bolbió a salir al rio, llevandose alguna harina y costales y pan amasado. Llegó la calle adentro el agua hasta el molino del aceite de la Cadina; arruinaronse las viñas de las laderas hasta descubrir las raices de las cepas, haciendo otros muchos daños la inundacion de los arroyos.

1618, 1-2, 2-3-4; R4, G, Granada; AU1, vol.2, pg 618; 15

En este año, por los meses de febrero y março y casi hasta mediados de abril llovió en esta ciudad de Granada y casi en toda el Andalucía más de sesenta dias casi arreo, sin parar, de suerte que tomaron los rios muchísima agua y crecieron muchísimo haciendo

grandes daños.

1622, 1, 1, 3-5; R1, Sevilla; AU2, pg 32; 21

En 3 de enero neó hasta otro día, y duró un palmo en alto la nieve dos días.

1623, 3, 8, 3; R1, Sevilla; AU2, pg 36; 312, 23?

Jueves 3 de agosto en la tarde se obscureció el sol y el cielo notablemente, i el ayre quemaba. Y supose por la mañana auerse quemado las dehesas de Villamanrique y Chuzena.

1624, 2, 4, 7; R1, Sevilla; AU2, pg 40; 14

Domingo de Resurrección, 7 de abril, a la una del día caió tan piedra que destrozó los árboles.

1626, 1, 1, 17-26; R1, Sevilla; AU2, pg 51-54; 15, 322, 41

En 25 de enero fue la venida grande.

Auia llovido mucho desde 17 de enero. Jueves 22 salió el río, i continuando la lluvia y viento, y creciendo el río, sábado 24 a medianoche se rompió el reparo de tablas en la puerta del Arenal, entróse el agua, y se fue extendiendo y subiendo hasta emparejar con la altura del río, y estuvo assi auierta dos días sin poder antes cerrar... Domingo 25 de Enero amaneció anegada intra muros la ciudad... Como fue repentina la inundacion cogió a muchos en cama, y muchos perecieron...

Esta noche, sábado 24 de enero, fue de gran confusión y terror... Era la noche muy oscura, muy ventosa y lluviosa...

Domingo 25 de enero, en amaneciendo, se descubrió el Santísimo en la iglesia maior i estuvo descubierto tres días, y otras iglesias también. A la noche aplacó un poco, pero el lunes siguiente 26 fue terrible, y mas recio el viento y aguazeros que hasta allí, si bien el agua comenzó a bajar...

Los arrabales padecieron el mismo trabaxo, y Triana quedó destruida y despoblada.

1639, 6, 7, 15; R2, Cádiz; AU1, vol. 2, pg 831; 41

Viernes quince días del mes de Julio deste dicho año de mil y seiscientos treinta y nueve fué Dios serbido de que tomase puerto en Cádiz la flota y galeones de su majestad que

la libró Dios de los enemigos que la estaban esperando y abiendose lebantado unas nieblas con que no los vieron y pasaron casi por medio de ellos.

1641, 2, 4, 20; R1, Sevilla; AU2, pg 93; 21

En 20 de abril ubo grande escarcha y el alcaçel lleno de ielo.

1649, 2, 3, 27-31; R1, Sevilla; AU2, pg 116; 15, 21

... llegó el sábado de Ramos, que se contaron 27 de março, amaneció lloviendo continuamente sin cessar. Siguió el Domingo de Ramos con grandissimos aguazeros, y lunes y Martes Santo, que en breve se inundó la ciudad, ocasionado de estar cerrados los huzillos y albañales por venir el río tan alto que asombró, que todos los entendidos en esta materia afirmaron de toda verdad, auiendo visto las señales, que auia sido mayor riada que la del año 1626, y quando menos auia sido tan alta. En quanto lo de los muros adentro, fue mucho, i las murallas se passaron, i en las mas partes se probeían de lo necessario con barcos, y sería lo anegado mas del tercio de la ciudad.

Viose una cosa no vista en Seuilla: que no fue salir cofradía alguna a causa de continuar las aguas. Además de las quales hacía frio como por Enero.

1661, 4, 9, 22; R5, Málaga; A3, pg 157; 15

En 23 de septiembre de 1661, el presidente dijo cómo constaban las necesidades tan graves que había en este lugar, ocasionadas del diluvio que había habido, para lo cual juzgaba por obligacion precisa se sacara de la mesa capitular una cantidad y comprado el trigo con ella, se reparta...

NOTA: Ac. cap. núm. 30, fols. 95v-96. Existe una "Relación verdadera, donde se da cuenta de la inundación de la ciudad de Málaga, el día 22 de Septiembre deste año de 1661", en Madrid, B. Nac. R-Varios, 59-69

1670, 3, 7;R1, Alcolea; HR3, pg 33; 312, 322?

Otro espantoso fuego se emprendió en Sierra Morena por los años mil y seiscientos y setenta, á los vltimos del mes de Iulio; y tuvo su principio en las Ventas de Alcolea, con tanto rigor, que corrió mas de doce leguas: llegó tan voraz a este Conuento, y sus Hermitas, que quemó las bardas de su cerca, y tapias.

NOTA: Se trata del Convento franciscano del Monte, "el sitio del dicho Conuento está en medio de la Sierra Morena, cinco leguas de la Ciudad de Cordoua...", HR3, pg 28.

1683; R1, Sevilla; AU2, pg 209; 12

Fue el año de 1683 de pocas aguas, y así la cosecha de trigo, ceuada y semillas fue corta.

1683, 3; R1, Sevilla; AU2, pg 209; 23?

El verano fue calurosísimo, y en esta ciudad de Sevilla mui penoso por esta causa.

APENDICE III

INDICES DE PRECIPITACION

a) Región SW.

Año	I_i	I_p	I_v	I_o	I_a
1501	0	0	0	0	0
1502	0	0	0	0	-1
1503	0	0	0	0	0
1504	2	1	0	1	1.3
1505	1	1	0	0	1
1506	-2	-2	0	0	-2
1507	-1	-1	0	2	0
1508	0	0	0	0	0
1509	0	0	0	0	0
1510	0	0	0	0	2
1511	0	0	0	0	0
1512	0	0	0	0	0
1513	1	0	0	0	1
1514	0	0	0	0	1
1515	0	0	0	0	0
1516	0	0	0	0	0
1517	0	0	0	0	0
1518	0	0	0	0	-1
1519	0	0	0	0	0
1520	1	0	0	-1	0
1521	0	0	0	0	-2
1522	0	0	0	0	1.5
1523	0	0	0	0	2
1524	0	0	0	0	0
1525	0	0	0	0	-1
1526	0	0	0	0	0
1527	0	0	0	0	1
1528	-1	-1	0	0	-1
1529	0	0	0	0	-1
1530	0	0	0	0	1
1531	0	0	0	0	0
1532	0	0	0	0	0
1533	0	0	0	0	1
1534	0	0	0	0	0
1535	0	0	0	-1	-1
1536	-1	0	0	0	-1
1537	0	0	0	0	-1
1538	0	0	0	0	0
1539	0	0	0	0	-1
1540	-1	-0.5	0	0	-0.75
1541	0	0	0	0	-1
1542	0	-1	0	0	-1
1543	0	0	0	1	1
1544	1.25	1	0	1	1.08
1545	2	1	0.6	0	1.2
1546	0	0	0	0	-1

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1547	0	0	0	0	0
1548	0	0	0	0	-1
1549	0	0	0	0	0
1550	0	0	0	0	0
1551	0	0	0	0	0
1552	0	0	0	0	0
1553	0	0	0	0	0
1554	2	0	0	0	2
1555	0	0	0	0	0
1556	0	0	0	0	0
1557	0	0	0	0	1
1558	0	1	0	0	1
1559	0	0	0	0	0
1560	0	0	0	0	0
1561	0	-1	0	0	-1
1562	0	0	0	1	1
1563	0	0	0	0	0
1564	0	0	0	0	0
1565	0	0	0	0	0
1566	-2	0	0	0	-0.75
1567	-0.5	0	0	0	-0.5
1568	0	0	0	0	1
1569	0	0	0	0	0
1570	0	0	0	0	0
1571	0	-1	0	0	-1
1572	0	0	0	0	0
1573	0	0	0	0	0
1574	0	0	0	0	0
1575	0	1	0	0	1.5
1576	0	0	0	2	2
1577	0	0	0	0	0
1578	0	0	0	0	-1
1579	0	0	0	0	1.5
1580	0	0	0	0	0
1581	0	-1	0	0	0
1582	0	0	0	1	1
1583	0	0	0	0	0
1584	0	0	0	0	-1
1585	0	0	0	0	0
1586	0	-1	0	2	0.5
1587	1	0	0	0	1
1588	-1	0	0	0	-1
1589	0	-1	0	1	0
1590	2	2	0	1	1.8
1591	2	0.5	0	0	1.25
1592	0	2	0	0	2
1593	0	0	0	0	-1
1594	0	0	0	0	1.5
1595	0	0	0	2	2
1596	2	2	0	0	2
1597	2	1.5	0	0	1.75
1598	0	0	0	0	0
1599	0	0	0	0	-1

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1600	0	-0.5	0	0	-0.5
1601	0	0	0	0	0
1602	0	-1	0	0	-1
1603	0	2	0	0	1.5
1604	2	2	0	-1	1
1605	-0.91	-0.5	0	2	-0.705
1606	2	0	0	0	2
1607	0	0	0	0	0
1608	0	2	0	0	2
1609	0	-1	0	0	0.5
1610	0	-1	0	0	-1
1611	0	0	0	0	0
1612	0	0	0	0	0
1613	0	0	0	-1	-1
1614	0	0	0	0	0
1615	0	0	1	0	1
1616	0	-1	0	0	-1
1617	-1	-1	0	2	-0.5
1618	1.5	2	0	0	1.87
1619	0	0	0	0	0
1620	-0.5	0	0	0	-0.5
1621	0	1	0	0	0
1622	0	-1	0	0	-1
1623	0	0	0	0	-1
1624	0	1	0	0	1.5
1625	0	0	0	1	1
1626	2	0	0	0	1.25
1627	0	2	0	0	2
1628	0	0	0	0	0
1629	1	0	0	0	0.75
1630	0	0	0	0	0
1631	0	0	0	0	0
1632	0	0	0	0	2
1633	0	0	2	1.5	1.75
1634	0	-1	0	0	-1
1635	1	0	0	0	1
1636	0	-0.6	0	0	-0.86
1637	0	0	0	0	0
1638	0	0	0	0	0
1639	0	0	0	0	0
1640	0	0	0	0	0
1641	1	-0.5	0	0	-0.37
1642	2	0	1	0	1.5
1643	1.5	1	0	0	1.25
1644	1	0	0	0	1
1645	0	0	0	0	0
1646	0	-1	0	1	0
1647	1	0.3	0	0	0.65
1648	0	0	0	0	0
1649	0	1.6	1	1	0.1
1650	0	0	0	0	0

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1651	0	1	0	0	-0.5
1652	0	-0.5	0	0	-0.5
1653	0	0	0	0	-1
1654	0	0	0	0	0
1655	0	0	0	0	-1
1656	0	0	1	1	1
1657	0	0	0	0	-1
1658	0	2	0	0	-1
1659	0	0	0	0	0
1660	0	0	0	0	-1
1661	0	0	0	0	-1
1662	0	0	0	0	0
1663	0	2	0	0	2
1664	-1	-0.92	0	0	-0.96
1665	0	0	0	0	0
1666	0	0	0	0	-1
1667	2	0	0	0	2
1668	0	-1	0	0	-1
1669	-0.3	-0.5	0	0	-0.4
1670	2	0	0	0	2
1671	0	1	0	0	1
1672	0	0	0	0	0
1673	1	0	0	0	1
1674	0	0	0	-1	-1
1675	-1	1	0	0	0
1676	0	0	0	0	0
1677	1	0	0	0	0.87
1678	0	0	1	0	1
1679	0	0	0	0	0
1680	-1	0	0	0	-1
1681	0	0	0	0	0
1682	0	0	0	0	-1
1683	0	0	0	-1	-1
1684	1.5	1	1	0	1.16
1685	0	-1	0	0	-1
1686	0	1	0	0	0.5
1687	0	0	0	0	-1
1688	0	0	0	0	0
1689	0	0	0	0	0
1690	0	0	0	0	-1
1691	0	0	0	2	2
1692	2	1.5	1	0	1.5
1693	1	1	0	0	1
1694	0	0	1	0	-1
1695	1	-0.66	0	0	0.16
1696	0	1	0	0	1
1697	0	2	0	0	0.5
1698	0	-1	0	0	-1
1699	0	-0.5	0	0	-0.5
1700	0	-1	0	0	-1

b) Región M

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1501	0	0	0	0	0
1502	0	0	0	0	-1
1503	0	0	0	0	0
1504	0	0	0	2	2
1505	2	1	0	0	1.5
1506	-2	-2	0	0	-2
1507	0	0	0	0	0
1508	0	0	0	0	0
1509	0	0	0	0	0
1510	0	0	0	0	0
1511	0	0	0	0	0
1512	0	0	0	0	0
1513	0	0	0	0	0
1514	0	0	0	0	0
1515	0	0	0	0	0
1516	0	0	0	0	0
1517	0	2	0	0	2
1518	0	0	0	0	0
1519	1	0	0	0	1
1520	2	0	0	0	2
1521	-1	0	0	0	-1
1522	0	0	0	0	0
1523	0	0	0	0	0
1524	0	0	0	0	2
1525	0	0	0	0	-1
1526	0	0	0	0	0
1527	1	1	0	0	1
1528	-1	-1	0	0	-1
1529	-1	-1	0	0	-1
1530	0	0	0	0	0
1531	0	0	0	0	0
1532	0	0	0	0	0
1533	0	0	0	0	0
1534	1	0	0	0	1
1535	0	0	0	0	0
1536	0	0	0	0	0
1537	0	0	0	0	0
1538	0	0	0	0	0
1539	0	0	0	0	-1
1540	0	0	0	0	-1
1541	0	0	0	0	-1
1542	-1	-1	0	0	-1
1543	0	0	0	0	0
1544	1	1	2	1	1.25
1545	1	1	0.6	0	0.86
1546	0	0	0	0	0
1547	0	0	0	0	0
1548	0	-1	0	0	-1
1549	0	0	0	0	0
1550	0	0	0	0	0

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1551	0	0	0	0	0
1552	0	0	0	0	0
1553	0	0	0	0	0
1554	0	0	2	2	2
1555	0	0	0	0	0
1556	0	0	0	0	0
1557	0	0	0	0	1
1558	0	0	0	0	0
1559	0	0	0	0	0
1560	0	0	0	0	0
1561	-1	-1	0	1	-0.33
1562	2	0	0	1	1.5
1563	0	0	0	0	0
1564	0	0	0	0	1
1565	0	0	0	0	2
1566	0	0	0	0	-1
1567	0	0	0	0	-1
1568	0	0	0	0	0
1569	0	0	0	0	0
1570	0	0	0	0	-1
1571	0	0	0	0	0
1572	2	0	0	0	2
1573	0	0	0	0	0
1574	0	0	0	0	0
1575	0	0	0	0	0
1576	0	0	0	0	0
1577	0	0	0	0	0
1578	0	0	0	0	0
1579	0	0	0	0	0
1580	0	0	0	0	0
1581	0	0	0	0	0
1582	0	0	0	0	0
1583	0	-1	0	0	-1
1584	0	0	0	0	-1
1585	0	0	0	0	0
1586	1	0	0	0	1
1587	0	0	0	0	0
1588	0	0	0	0	0
1589	0	-1	0	0	-1
1590	1.5	1.5	0	2	1.25
1591	0	-1	0	0	0
1592	1	0	2	0.5	1.16
1593	-1	-1	0	0	-1
1594	0	0	0	0	-1
1595	0	0	0	1	1
1596	0	0	0	0	1
1597	0	0	0	0	0
1598	-1	1	0	0	0
1599	0	2	0	-1	0.5
1600	0	0	0	-1	-1

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1601	0	0	0	0	0
1602	0	1	0	0	1
1603	0	0	0	0	0
1604	0	0	1	-1	0
1605	-1.125	-1	0	1	-1.06
1606	0	0	0	0	0
1607	0	0	0	0	0
1608	0	0	0	0	1
1609	0	0	0	0	0
1610	0	0	0	0	0
1611	0	0	2	0	2
1612	0	0	1	0	1
1613	0	0	0	0	0
1614	0	0	0	2	2
1615	0	0	0	0	0
1616	1	-1	0	0	0
1617	0	-2	0	2	-0.5
1618	2	2	0	0	2
1619	0	0	0	0	0
1620	0	0	0	0	0
1621	0	0	0	-1	-1
1622	0	0	0	0	0
1623	0	0	0	0	0
1624	2	0	1	0	1.5
1625	1	0	0	0	1
1626	2	2	0	0	2
1627	0	2	0	0	2
1628	0	-1	0	-2	-1.5
1629	-1	2	2	0	1
1630	0	0	0	1	0.5
1631	0	0	0	0	0
1632	0	0	0	0	0
1633	0	0	0	0	0
1634	0	0	0	0	0
1635	2	-0.375	0	0	0.81
1636	0.5	0	0	0	0.5
1637	0	0	0	0	0
1638	0	0	0	0	0
1639	1	0	0	0	1
1640	1	0	0	0.75	0.87
1641	0	-1	0	2	0.33
1642	1.375	1	0	0	1.18
1643	0	0	0	0	0
1644	0	0	0	0	0
1645	0	0	0	0	0
1646	2	1	1	2	1.5
1647	0	0	0	0	0
1648	0	0	0	0	0
1649	0	0	0	0	0
1650	0	0	0	0	0

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1651	0	0	0	0	0
1652	0	0	0	0	0
1653	0	0	0	0	-1
1654	0	0	0	0	0
1655	0	0	0	0	-1
1656	0	0	0	0	0
1657	0	0	0	0	0
1658	0	0	0	0	0
1659	0	0	0	0	0
1660	0	0	0	0	0
1661	0	0	0	0	0
1662	0	0	0	0	0
1663	0	0	0	0	0
1664	0	0	0	-1	-1
1665	0	0	0	0	0
1666	0	0	0	0	0
1667	0	0	0	0	0
1668	0	0	0	0	0
1669	0	0	0	0	0
1670	0	0	1	0	1
1671	1	1	0	0	1
1672	0	0	0	0	0
1673	0	0	0	0	0
1674	0	0	0	0	0
1675	0	0	0	0	-1
1676	0	0	0	0	0
1677	0	0	0	0	1
1678	0	0	0	0	0
1679	0	0	0	0	0
1680	0	0	0	0	0
1681	0	0	0	0	0
1682	0	0	0	0	0
1683	0	0	0	0	0
1684	0	0	0	0	0
1685	0	1	1	0	1
1686	0	0	0	0	0
1687	0	0	0	0	0
1688	0	0	0	0	0
1689	0	-2	-1	0	-1.5
1690	0	0	0	0	0
1691	0	0	0	0	0
1692	0	0	0	0	0
1693	0	0	0	0	0
1694	0	-0.5	0	2	0.75
1695	0	0	0	0	0
1696	0	0	0	0	0
1697	0	0	0	0	0
1698	0	0	0	0	0
1699	0	-1	0	0	-1
1700	0	0	0	0	0

c) Andalucía.

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_s</u>
1501	0	0	0	0	0
1502	0	0	0	0	-1
1503	0	0	0	0	0
1504	2	1	0	1.5	1.5
1505	1	1	0	0	1
1506	-2	-2	0	0	-2
1507	0	0	0	2	2
1508	0	0	0	0	0
1509	0	0	0	0	0
1510	0	0	0	0	2
1511	0	0	0	0	0
1512	0	0	0	0	0
1513	1	0	0	0	1
1514	0	0	0	0	1
1515	0	0	0	0	0
1516	0	0	0	0	0
1517	0	1.5	0	0	1.5
1518	0	0	0	0	-1
1519	1	0	0	0	1
1520	0	0	0	0	0
1521	-1	0	0	0	-1
1522	0	0	0	0	1.5
1523	0	0	0	0	1.5
1524	0	0	0	0	2
1525	0	0	0	0	-1
1526	0	0	0	0	0
1527	1	1	0	0	1
1528	-1	-1	0	-1	-1
1529	-1	-1	0	0	-1
1530	0	0	0	0	1
1531	0	0	0	0	0
1532	0	0	0	0	0
1533	0	0	0	0	0
1534	1	0	0	0	1
1535	-1	0	0	0	-1
1536	-1	0	0	0	-1
1537	0	0	0	0	-1
1538	0	0	0	0	0
1539	0	0	0	0	-1
1540	0	0	0	0	0
1541	-1	0	0	0	-1
1542	-1	-1	0	0	-1
1543	0	0	0	1	1
1544	1	1	2	1	1.25
1545	1.3	1	0.6	0	0.9
1546	0	0	0	0	-1
1547	0	0	0	0	0
1548	0	-1	0	0	-1
1549	2	0	0	0	2
1550	0	0	0	0	0

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1551	0	0	0	0	0
1552	0	0	0	0	0
1553	-1	0	0	0	-1
1554	2	0	2	2	2
1555	0	0	0	0	0
1556	0	0	0	0	0
1557	0	0	0	0	1
1558	0	1	0	0	1
1559	2	0	0	0	2
1560	0	0	0	0	1
1561	2	-1	0	1	0.6
1562	2	0	0	1	1.5
1563	0	0	0	0	0
1564	0	0	0	0	1
1565	0	0	0	0	1
1566	-2	0	0	0	-1
1567	-0.5	0	0	0	-0.5
1568	0	0	0	0	1
1569	0	0	0	0	0
1570	0	0	0	0	-1
1571	0	-1	0	0	-1
1572	0	0	0	0	0
1573	2	0	0	0	2
1574	0	0	0	0	0
1575	0	0	0	0	1.25
1576	0	0	0	2	2
1577	0	0	0	0	0
1578	0	0	0	0	-1
1579	0	0	0	0	1.6
1580	0	0	0	0	2
1581	0	-1	0	0	-1
1582	0	1	0	0	1
1583	0	-1	0	0	-1
1584	0	0	0	0	0
1585	0	0	0	0	0
1586	1	-1	0	2	0.6
1587	1	0	0	0	1
1588	-1	0	0	0	-1
1589	0	-1	0	1	0
1590	0.75	1.5	0	1.5	0.94
1591	2	0.5	0	0	1.25
1592	1	2	2	0.5	1.375
1593	2	0	0	0	1
1594	-1	-1	0	1.5	-0.16
1595	0	2	1	1.25	1.42
1596	2	0	0	0	2
1597	2	1.5	0	2	1.83
1598	0	0	0	0	0
1599	0	2	0	-1	0.5
1600	1	-1	0	-1	-0.3

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_s</u>
1601	0	0	0	0	0
1602	0	0	0	0	0
1603	0	2	0	0	1.5
1604	2	2	1	-1	1
1605	-1	-0.75	0	1.5	-0.09
1606	2	0	0	0	2
1607	0	0	0	0	0
1608	2	2	0	0	2
1609	-1	-1	0	0	-1
1610	0	-1	0	2	0.5
1611	0	0	2	1	1.5
1612	0	0	1	0	1
1613	0	0	0	-1	-1
1614	0	0	0	2	2
1615	0	0	1	0	1
1616	1	-1	0	2	0.66
1617	-1	-1.5	0	2	-0.16
1618	1.75	2	0	0	1.875
1619	0	0	0	0	0
1620	-0.5	0	0	0	-0.5
1621	0	1	0	-1	0
1622	0	-1	0	0	-1
1623	2	0	0	0	2
1624	2	1	1	0	1.33
1625	1	0	0	1	1
1626	2	2	0	0	2
1627	0	2	0	0	2
1628	0	-1	0	0	-0.5
1629	0	2	2	2	1.5
1630	0	0	0	1	0.5
1631	0	0	0	0	0
1632	0	0	0	2	2
1633	0	0	2	0.25	1.125
1634	0	-1	0	0	-1
1635	1.5	-0.375	0	2	1.04
1636	0.5	-0.6	0	0	-0.05
1637	0	0	0	0	0
1638	0	-1	0	0	-1
1639	1	0	0	-1	0
1640	1	0	0	0.75	0.87
1641	1	-0.83	0	2	0.72
1642	1.69	1	1	2	1.42
1643	1.5	1	0	0	1.25
1644	1	0	0	1	2
1645	0	0	0	0	0
1646	2	0	1	1.5	1.125
1647	1	0.3	0	0	0.65
1648	0	0	0	0	0
1649	0	1.6	1	1	1.1
1650	0	0	0	0	0

<u>Año</u>	<u>I_i</u>	<u>I_p</u>	<u>I_v</u>	<u>I_o</u>	<u>I_a</u>
1651	0	0	0	0	0
1652	0	-0.5	0	0	-0.5
1653	0	0	0	0	-1
1654	0	0	0	0	0
1655	0	0	0	0	-1
1656	0	0	1	1	1
1657	0	0	0	0	-1
1658	0	2	0	0	-1
1659	0	0	0	0	0
1660	0	0	0	0	-1
1661	0	0	0	2	0.5
1662	0	0	0	0	0
1663	0	2	0	0	2
1664	0	-0.96	0	-1	-0.65
1665	0	0	0	0	0
1666	0	0	0	0	-1
1667	2	0	0	0	2
1668	0	-1	0	0	-1
1669	-0.3	-0.5	0	0	-0.4
1670	2	0	1	0	1.5
1671	1	1	0	0	1
1672	0	0	0	0	0
1673	1	0	0	0	1
1674	0	0	0	-1	0
1675	-1	1	0	0	-0.5
1676	1	0	0	0	1
1677	1	0	0	0	0.935
1678	-1	-1	1	0	-0.33
1679	0	0	0	0	0
1680	-1	0	0	0	-1
1681	0	0	0	0	0
1682	0	0	0	0	-1
1683	0	-1	0	-1	-1
1684	1.5	1	1	0	1.16
1685	0	0	1	2	1
1686	0	1	0	0	0.5
1687	0	0	0	0	-1
1688	0	0	0	0	0
1689	0	-1	-1	0	-1.5
1690	0	0	0	0	-1
1691	0	0	0	2	2
1692	2	1.5	1	0	1.5
1693	1	1	0	0	1
1694	0	-0.5	1	2	0.83
1695	1	-0.66	0	0	0.16
1696	0	1	0	0	1
1697	0	2	0	0	0.5
1698	0	-1	0	0	-1
1699	0	-0.83	0	0	-0.83
1700	0	-1	0	0	-1

i=invierno; p=primavera; v=verano; o=otoño; a=año

APENDICE IV

ANALISIS DEL ESPECTRO DE POTENCIA

Se dedica este apéndice a la descripción del método de Blackman y Tukey (1958) para el cálculo de los espectros de una serie temporal, según la descripción de Mitchell (1969). Si tenemos N términos de una serie temporal, se comienza calculando las covarianzas C_τ para todos los desfases $\tau=0$ a $\tau=m$ (donde $m < N$), según

$$C_\tau = \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x})$$

donde \bar{x} es la media de la serie. Las estimaciones espectrales se obtienen directamente a partir de estos valores C_τ mediante las ecuaciones

$$\bar{s}_0 = \frac{1}{2m} (C_0 + C_m) + \frac{1}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} C_\tau$$

$$\bar{s}_k = \frac{C_0}{m} + \frac{2}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} C_\tau \cos\left(\frac{\pi k \tau}{m}\right) + \frac{1}{m} C_m (-1)^k$$

$$\bar{s}_m = \frac{1}{2m} (C_0 + (-1)^m C_m) + \frac{1}{m} \sum_{\tau=1}^{m-1} (-1)^\tau C_\tau$$

La primera de estas ecuaciones se usa para calcular la estimación espectral de orden cero, que corresponde a longitudes de onda virtualmente infinitas (tendencias), y la tercera ecuación se usa para calcular la última estimación espectral, que se corresponde con la más corta longitud de onda resoluble en el espectro (igual a dos veces el intervalo entre observaciones sucesivas). El resto de las $m-1$ estimaciones se calculan a partir de la ecuación

intermedia, con $k=1, 2, \dots, m-1$.

Las estimaciones espectrales finales se calculan luego ajustando las anteriores con una media móvil ponderada de tres términos. Las fórmulas de ajuste son

$$s_0 = \frac{1}{2} (\overline{s_0} + \overline{s_1})$$

$$s_k = \frac{1}{4} (\overline{s_{k-1}} + 2\overline{s_k} + \overline{s_{k+1}})$$

$$s_m = \frac{1}{2} (\overline{s_{m-1}} + \overline{s_m})$$

Si m se elige igual a N (y los miembros de la serie están igualmente distribuidos en el tiempo) y la covarianza se calcula según la definición circular,

$$\sum_s = \sum_{i=1}^N x_i x_{i+1} \equiv \sum_{N^*} x_N x_i$$

entonces el espectro es idéntico al periodograma de Schuster, en el cual los resultados se expresan en términos de la varianza contabilizada para cada armónico.

A continuación se ajusta un continuo de hipótesis nula al espectro, con el objeto de buscar el nivel de significado de las estimaciones espectrales.

Si el coeficiente de correlación serial de desfase 1, r_1 , dado por

$$r_1 = \frac{\frac{N^2}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} x_i x_{i+1} - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}$$

no difiere de cero en una cantidad estadísticamente significativa, que nosotros hemos considerado como dos veces el error típico de la estimación (STATGRAPHICS, 1991), la serie debe entenderse como libre de persistencia. En tal caso, el continuo "nulo" apropiado es el de "ruido blanco", o, en otras palabras, una línea recta horizontal cuyo valor es igual al promedio de todas las estimaciones espectrales.

En el caso de que r_1 difiera de cero, debe buscarse si los coeficientes para los siguientes desfases siguen aproximadamente una relación exponencial,

$$r_2 \approx r_1^2, r_3 \approx r_1^3, \text{ etc.}$$

Si éste es el caso, el continuo "nulo" apropiado es el "ruido rojo" de Markov, S_k , cuya forma depende del valor del coeficiente de correlación de desfase 1 para la población.

$$S_k = \bar{s} \left(\frac{1 - r_1^2}{1 + r_1^2 - 2r_1 \cos \frac{\pi k}{m}} \right)$$

donde \bar{s} es la media de las $m+1$ estimaciones espectrales \bar{s}_k del espectro. Si no se da esta relación exponencial, el ruido rojo de Markov no es apropiado como continuo nulo.

Comparamos el valor de cada estimación espectral con el valor local del continuo nulo. Si encontramos que ninguna de las $m+1$ estimaciones espectrales se desvía en una cantidad estadísticamente significativa del continuo, concluimos que el continuo elegido de hecho aproxima al auténtico espectro de la serie. Si, por otro lado, encontramos que una o más de las estimaciones espectrales se desvían significativamente del continuo, concluimos

que el continuo elegido para la comparación no es una aproximación satisfactoria al auténtico espectro de la serie de la población. En tal caso, o cambiamos la forma del continuo, o establecemos la magnitud de la discrepancia y el rango de longitudes de onda implicadas, especificando la forma de no-aleatoriedad que está presente en la serie.

El estadístico asociado es la razón de la magnitud de la estimación espectral a la magnitud local del continuo. Esta magnitud se distribuye como chi-cuadrado dividido por los grados de libertad. Los grados de libertad ν de cada estimación de un espectro que se basa en N valores y en un desfase máximo de m unidades de tiempo viene dado por

$$\nu = \frac{2N - \frac{m}{2}}{m}$$

La razón de cualquier estimación espectral a su valor local del continuo se compara luego con los niveles porcentuales críticos de una distribución χ^2/ν , y esta comparación establece el nivel de significado estadístico requerido. En la práctica, los niveles críticos de la distribución χ^2/ν pueden obtenerse a partir de las tablas de la distribución χ^2 , disponibles en cualquier manual de estadística, dividiendo por el valor de χ^2 por el valor de ν .

Una vez los límites de confianza del continuo han sido añadidos gráficamente, podemos ver si las estimaciones espectrales se sitúan fuera de estos límites. Si no lo hacen, entonces el continuo "nulo" aproxima bien al espectro en estudio. Si cualquier estimación espectral excede el límite de confianza del 95%, puede ser que la estimación espectral en cuestión corresponda a una oscilación contenida en la serie.

APENDICE V

UN EJEMPLO DE ESTUDIO PALEOCLIMATICO

LA TORMENTA DEL 19 DE OCTUBRE DE 1562

Por lo general, durante la Edad Moderna, la navegación a través del Mediterráneo se interrumpía en la estación fría, es decir, otoño e invierno, para reanudarse con la llegada de la primavera. Braudel (1985) recoge la afirmación del Príncipe Doria (1468-1560) según la cual los únicos tres puertos seguros del Mediterráneo eran "Cartagena, Junio y Julio". El 12 de agosto de 1562, Don Juan de Mendoza escribe a Felipe II desde Cartagena comunicándole que "estos capitanes de mar van temblando diciendo que el tiempo es ya adelante" (R-2). La invernada era la práctica habitual, como atestigua, por ejemplo, la carta que en Noviembre de 1561 escribe Felipe II a Don Juan de Mendoza, entonces en Génova, en la que rectifica una orden previa de regresar a las costas españolas, "aviendo entendido lo mucho que se ha dilatado la yda de la goleta por causa de los vientos contrarios y que el tiempo se va metiendo tan adelante" (R-2).

No obstante estas precauciones, en el siglo XVI los viajes por alta mar se multiplican como consecuencia del incremento de la actividad comercial y la lucha por la hegemonía mercantil y político-religiosa (Braudel, 1985). El comercio exterior se efectuaba sobre todo por vía marítima. Así, por ejemplo, en tiempos de escasez, como durante la sequía del bienio 1520/21, el Cabildo de la Ciudad de Granada entabló negociaciones para la compra de trigo en Sicilia y Nápoles (A-2). Según Domínguez Ortiz (1988), el hundimiento del tráfico en el Mar del Norte, orientado a la exportación de lanas, llevó a que a finales de siglo se desviarán estas exportaciones en beneficio de Alicante, Cartagena y otros puertos mediterráneos. En los puertos del sur, como Málaga, se procedía a la exportación de vinos y frutos secos, y, aunque el comercio con el Norte de Africa decayó por la prohibición de exportar artículos de interés militar, no disminuyó el tráfico marítimo, ya fuera por el interés en ocupar puntos estratégicos de la costa, como Túnez o Argel, ya fuera por hacer frente al poderío turco y a los navíos corsarios con base en los puertos de Berbería. En estas condiciones, no es de extrañar la proliferación de noticias históricas sobre naufragios y desastres navales.

Es bien conocido, tanto desde el punto de vista histórico como del meteorológico, el desastre de la Armada Española en 1588 en el Mar del Norte (Mattingly 1959, Douglas et al., 1978; Lamb, 1991). Como vemos, no fue un hecho aislado en el curso del siglo XVI. Para analizar la importancia de estas noticias en los estudios paleoclimáticos, puede ser un buen ejemplo el estudio del desastre de la Armada Española en Octubre de 1562 frente a las costas mediterráneas de Andalucía, en La Herradura. Hay muchas referencias a este suceso en los textos de la época. Juan de Mariana (HG-2) menciona "un recio temporal que de noche sobrevino" con el resultado de 22 galeras perdidas. Las alusiones a este suceso aparecen incluso en obras literarias, así por ejemplo, Miguel de Cervantes, en la segunda parte del Quijote (1615) pone en boca de Sancho un relato en el que uno de los personajes "se ahogó en La Herradura". Esto nos da una idea de la magnitud del desastre, y de cómo pervivía su recuerdo en la conciencia colectiva medio siglo después.

El interés del desastre de 1562 no es exclusivamente histórico, sino también climatológico. En efecto, según Font Tullot (1986), la irrupción de la Pequeña Edad Glacial en la Península Ibérica puede fecharse aproximadamente a mediados del siglo XVI. El análisis del suceso que nos ocupa puede aportar información interesante sobre las condiciones climáticas de la época. Afortunadamente, disponemos de suficiente y detallada información documental, gracias sobre todo al trabajo de Calero Palacios (R-2), como para poder aportar algunas conclusiones interesantes.

Existen diversas relaciones breves de este desastre, todas ellas recogidas en el trabajo de Calero Palacios (R-2). En el Archivo general de Simancas (Leg. 444, F, 187) se encuentra una "Relación de las galeras perdidas en La Herradura, y número de galeotes que se salvaron", en la cual se describe cómo la flota afrontó el viento de levante hasta llegar a La Herradura, donde, tras cambiar el viento a viento del sur, "engrosóse tanto la mar que en poco rato se anegaron". En la Colección de documentos Inéditos aparece una "Copia sin fecha de una relación de cómo naufragó la escuadra española en La Herradura, el 19 de Octubre de 1562", que se expresa de igual forma. De la lectura de estas relaciones puede extraerse la conclusión de que fue un brusco cambio de la dirección del viento, de levante a viento del sur, el causante del desastre. Desde un punto de vista meteorológico poco más puede inferirse de estas informaciones sin temor a equivocarse.

Más interesante será contar con relatos de testigos presenciales del suceso. Entre ellos encontramos el "Romance de Fernando Moyano sobre la pérdida de la Armada española en La Herradura". Moyano era soldado de la infantería española del tercio de Flandes y se hallaba en una de las tres galeras que escaparon del naufragio. Este autor también menciona el viento de levante previo al naufragio, pero nada aclara sobre un posible cambio en la dirección del viento, declarando tan sólo que la tormenta comenzó sobre las ocho de la mañana y se prolongó durante nueve horas, al término de las cuales informa de la aparición del viento terral y el progresivo aplacamiento del mar. El hecho de escribir en verso pudo obligar, por necesidades de estilo, a que el autor omitiera algún detalle de interés.

Sin duda, la descripción más detallada del suceso es la "Relaçion que da Martin de Figueroa que se halló al perder de las galeras de la Herradura lunes dies y nuebe de otubre de mil e quinientos y sesenta y dos años". En lo que sigue, nos ceñiremos básicamente a esta descripción, no sólo por ser la más detallada, sino también por ser obra de un superviviente, testigo presencial.

Según Martín de Figueroa, el viento soplaba borrascoso de levante desde el mediodía del sábado 17 hasta la noche del domingo 18, en la que la flota zarpa de Málaga con destino a Orán, en el Norte de Africa. La noche del domingo 18, tras unos 12 km de navegación, a la altura del Rincón de la Victoria hace su aparición el viento terral. Con este viento siguen hasta "Turon" (¿Punta de Torrox?) a donde llegan "poco antes qu'el quarto del alba". Según el "Diccionario de Autoridades", primer diccionario de la lengua española, publicado en 1726, los "quartos" eran las tres partes en que se dividía la noche para los centinelas, que se denominaban, "de prima", "de la modorra", y "del alba", así que podemos suponer que esto sucede unas dos horas antes de amanecer. Allí el viento cambia a S-SW y comienza a lloviznar. De esta manera continúan viaje hasta Río de la Miel, donde amanece, vuelve el viento este, disminuye algo la temperatura y vuelve la llovizna. Ya el lunes 19, entre 10 y 11 de la mañana, llega a La Herradura toda la flota. Aclara algo el tiempo, luego torna el viento al SE, y entre 12 y 13 horas, salta el viento al SW, y comienza la tormenta. La duración de la misma es de unas cuatro horas, hasta las 16 horas, en que vuelve la calma.

Como vemos, la información es detallada, no sólo respecto a la dirección predominante del viento, sino también en cuanto a la hora y lugar aproximado de la costa en que se producen los cambios de dirección del mismo. En la Figura A.5.1 se muestra un plano geográfico donde se indica la ruta seguida por la flota y su posición aproximada los días 18 y 19 de Octubre. Las flechas en el gráfico señalan la dirección del viento según el relato de Martín de Figueroa. Nuestro propósito ahora es inferir de esta descripción la situación meteorológica que dio lugar al naufragio.

A partir de este relato, podemos establecer las siguientes situaciones en orden cronológico:

1) Desde mediodía del sábado 17 hasta la noche del domingo 18, predominio de fuertes vientos de levante. Esta situación se mantiene desde la salida de la flota de Málaga, hasta la llegada al Rincón de la Victoria.

2) Aparición del "terral" durante la noche del domingo 18, entre el Rincón de la Victoria y Turón.

3) Entre Turón, Río de la Miel y La Herradura, lloviznas, bruscos cambios en la dirección del viento y tormenta, desde el amanecer hasta las 16 horas del lunes 19.

4) Según Moyano, tras la tormenta, aparece de nuevo el "terral".

La inferencia de los posibles tipos de tiempo sinóptico involucrados es complicada sin una información más detallada, no sólo de lo que aconteció en otras zonas, sino también previa y posteriormente al suceso. Ocurre además que distintos tipos de tiempo pueden dar lugar a observaciones similares en superficie, lo cual nos impide llegar a un alto grado de detalle. No obstante, se pueden extraer algunas conclusiones generales.

En primer lugar, respecto al viento de Levante, es éste un viento típico del Mediterráneo Occidental, ligado a una fuerte redistribución del campo de presiones, y con mucha frecuencia describable como depresión a sotavento y sobrepresión a barlovento respecto del flujo general, dando lugar a los típicos temporales de la zona. La aparición de un fuerte gradiente de presión que induce levante en el Estrecho y en la costa de Málaga, suele ir asociada a situaciones con flujo del Nordeste y del Este (Castillo-Requena, 1989).

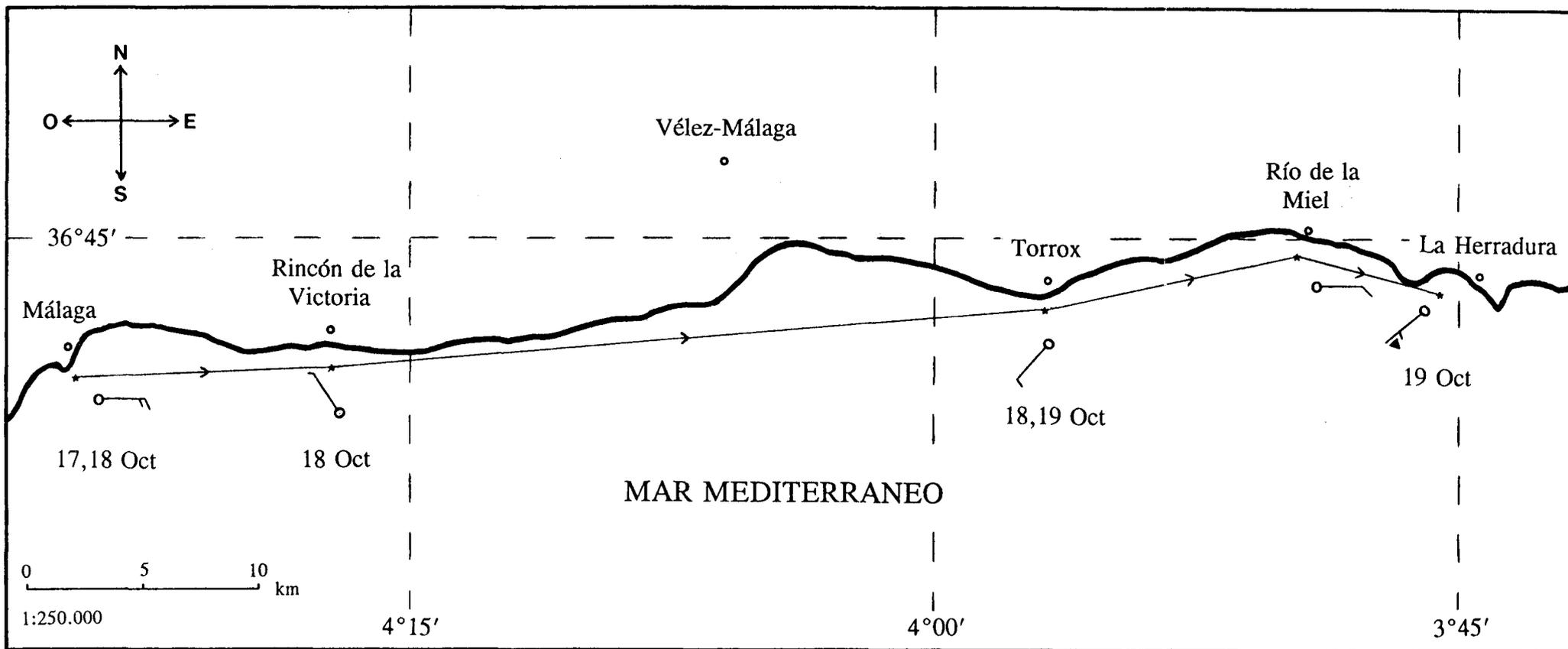


Fig. A.5.1.- Plano geográfico con indicación de ruta y posición de la flota los días 17, 18 y 19 de Octubre, así como dirección del viento según el relato de Martín de Figueroa.

El "terral" en la costa de Málaga se asocia a vientos del NW, pero también pudiera ser simplemente una brisa de tierra, dada su aparición nocturna. El momento de aparición del terral puede corresponder entonces a un debilitamiento de la situación previa. Analicemos ahora lo que más arriba hemos indicado como situación 3. Vamos a intentar demostrar cómo Martín de Figueroa, sin saberlo, ofrece una descripción del paso de una borrasca y sus frentes asociados (Barry y Chorley, 1984).

En Turón el viento cambia a S-SW y comienza a lloviznar. Estamos pues en la situación previa al paso del frente cálido. La zona frontal tiene una pendiente muy suave, de manera que los sistemas nubosos asociados a la parte superior del frente anuncian su llegada con varias horas de adelanto a la llegada del frente superficial (noche del domingo). En tales situaciones es frecuente la aparición de lluvias o lloviznas.

En Rio de la Miel amanece, vuelven las lloviznas intermitentes y el viento cambia a dirección E. Podemos suponer entonces, dado el cambio en la dirección del viento, que en este momento se produce el paso del frente cálido, y que la flota viaja con él hasta su llegada a La Herradura.

En La Herradura, vuelve a cambiar el viento, ahora a SE, y aclara el tiempo, entre 10 y 12 horas. Nos encontramos ahora en el momento del paso del sector cálido. Finalmente, entre 12 y 16 horas, se produce la tormenta, con cambio brusco de la dirección del viento a SW. A causa de la abrupta pendiente del frente frío, el mal tiempo dura menos que con el frente cálido, en este caso unas cuatro horas, en contraste con las aproximadamente 7 ó 8 horas que transcurrieron desde las primeras señales del paso de la borrasca. Tras el paso del frente frío, según Moyano, aparece de nuevo el "terral", indicando así el alejamiento de la borrasca en dirección este.

Como sabemos, en el Mediterráneo Occidental, hacia mediados del mes de octubre, se produce un repentino descenso de presión, acompañado de un marcado aumento de la probabilidad de precipitación. Este cambio va asociado a las primeras invasiones de frentes fríos, causantes de lluvias frontales y tormentas. Según esto, el caso que nos ocupa no es más que un ejemplo de esta situación típica.

Calero Palacios (R-2) incluye en su documentación una "Relacion de viaje que hizo D. Juan de Mendoza capitán general de las galeras de España a avituallar la goleta de Tunez y lo que entendió de aquella fuerza" (Simancas, A.G., s.l.). Este viaje transcurre entre finales del mes de Abril y comienzos de Junio, entre Nápoles y Sicilia. Son constantes las referencias al mal tiempo que obligó a Mendoza a refugiarse en puerto al menos en dos ocasiones (Proxita y la isla de Ponça) a lo largo del recorrido.

Ya hemos mencionado la carta de D. Juan de Mendoza a Felipe II desde Cartagena, fechada a 12 de Agosto, en que comunica el temor de los marinos por lo avanzado de la estación. Don Pedro Afán de Ribera, Virrey de Nápoles, escribía previamente a Felipe II el 14 de Julio, notificando haber recibido la orden referente al número de galeras que habían de navegar al mando de D. Juan de Mendoza. Esta carta es muy interesante, pues en ella se nos indican algunas de las condiciones consideradas como normales en aquella época, básicamente que a partir de la segunda mitad de agosto comenzaba el mal tiempo, y la navegación por las costas del norte de Africa resultaba difícil a causa de los vientos y las lluvias.

En consecuencia, las condiciones favorables para la navegación quedaban comprendidas entre mediados de Junio y mediados de Agosto. Hoy día, la cuenca mediterránea aparece dominada hacia mediados de Junio por el anticiclón de las Azores, muy extendido hacia el Este, y la aparición de las condiciones invernales (desaparición de la extensión hacia el Este del anticiclón de las Azores) ocurre, por lo general, hacia mediados de Octubre (Barry y Chorley, 1984). Esta también parece ser la situación aproximadamente un siglo antes, según cuenta Zurita en sus "Anales de la Corona de Aragón" (HG-1). En una noticia fechada a finales de septiembre de 1474 se menciona que "de allí a quince o veinte días [es decir, a partir de mediados de octubre] solían ser tan furiosos los vientos en aquella mar [el Mediterráneo] que no se podía navegar sin gran peligro". Parece ser, pues, que en el año que nos ocupa, el verano resultó bastante reducido, al menos en un mes respecto al presente, y que, además, esta era la situación normal alrededor del año 1562.

Por otro lado, Ortiz de Zúñiga, en sus "Anales de Sevilla" (AU-3) informa que durante este año "se padecieron grandes uracanes que arruinaron grandes edificios", y, en

concreto, cita uno que ocurrió el 23 de Septiembre, un mes antes del suceso que nos ocupa. En cuanto a la extensión del fenómeno, hay que destacar las noticias sobre la tempestad de aire que azotó el Marquesado del Zenete, situado al norte de Sierra Nevada, en las mismas fechas del naufragio, y que produjo el destrozo de los árboles frutales, castaños, morales y principales cosechas de la comarca. Según la escala Beaufort (Jansá Guardiola, 1968), los vientos que producen el destrozo de árboles y cosechas pueden clasificarse como de grado 10, en la categoría de "temporal". Para estos vientos, los límites de velocidad a 6 m de altura sobre terreno llano oscilan entre los 24.5 y los 28.4 m/s. En el mar, esta categoría corresponde a una situación de olas muy gruesas, con grandes crestas empenechadas, intenso ruido de la mar, visibilidad reducida y similares valores para la velocidad del viento a una altura de 10 m por encima de las olas. Podemos concluir que, al menos, toda la zona oriental de Andalucía fue afectada por la borrasca, y que efectivamente se trata de una depresión fría en viaje de Oeste a Este, y no sólo de un fenómeno puramente local.

Pero esta situación no se limitaría al Sudeste de la Península Ibérica, ni al mes de octubre. Así, por ejemplo, el Virrey de Nápoles, D. Pedro Afán de Ribera, escribe el 12 de Noviembre a Felipe II, comunicándole que, en su opinión, la noticia del naufragio no es extraña por la marcha que han seguido los acontecimientos meteorológicos este año (Calero, 1974), y el 19 de Noviembre, el Cabildo de la Ciudad de Vélez-Málaga acuerda prestar asistencia a los supervivientes del naufragio, porque, debido al mal tiempo, no podían continuar el viaje desde la Herradura.

BIBLIOGRAFIA



- Alcina Franch, J., ed., 1987. *José de Acosta. Historia Natural y Moral de las Indias*. Historia 16, Madrid.
- Almarza, C. y Gómez, A., 1990. 'Los Días más Lluviosos en la España Peninsular y Baleares en lo que va de Siglo'. En *Calendario Meteorológico 1991*, INM, Madrid.
- Alonso, J.M., 1990. *dBASE III Plus*, Paraninfo, Madrid.
- Alvarez Vázquez, J.A., 1986. 'Drought and Rainy Periods in the Province of Zamora in the 17th, 18th and 19th Centuries' En *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, F. López Vera, ed. Universidad Autónoma, Madrid.
- Anés Alvarez, G., 1967. 'La Epoca de las Vendimias: La Tradición de los Estudios de Climatología Retrospectiva en España'. *Estudios Geográficos*, 107, 243-263.
- Anés Alvarez, G., 1970. *Las Crisis Agrarias en la España Moderna*. Taurus, Madrid.
- Anés Alvarez, G., Bernal Rodríguez, A., García Fernández, J., Giralt Raventós, E. y Vilar, P., 1979. *La Economía Agraria en la Historia de España*. Alfaguara, Madrid.
- Aranda Doncel, J., 1986. 'El Abastecimiento de Nieve a Córdoba en los Siglos XVII y XVIII'. *Estudios Geográficos*, 182-183, 173-191.
- Ball, T.F., 1992. 'Historical and Instrumental Evidence of Climate: Western Hudson Bay, Canada, 1714-1850'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.
- Ballesteros, M., ed., 1972. *Juan de Mariana. Historia de España*, Ebro, Zaragoza.
- Barceló, M., 1979. 'Locust Plagues in Mid-West Hispania in the 6th and 7th Centuries as a Climatic Factor'. En *International Conference on Climate and History, 8-14 July 1979*. University of East Anglia, Norwich.
- Bardossy, A. y Caspary, H.J., 1990. 'Detection of Climate Change in Europe by Analyzing European Atmospheric Circulation Patterns From 1881 to 1989'. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 155-167.
- Baron, W.R., 1992. 'Historical Climate Records From the Northeastern United States, 1640 to 1900'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.
- Barry, R.G. y Chorley, R.J., 1984. *Atmosphere, Weather and Climate*, Methuen, London.
- Benassar, B., 1967. *Valladolid au Siècle d'or*. París.
- Berger, A., Dickinson, R.E. y Kidson, J.W., eds., 1989. *Understanding Climate Change*, American Geophysical Union, Washington DC.

Berger, A., 1991. 'Basic Concepts of Climate Modelling'. En *Climatic Change and Impacts: A General Introduction*. R. Fantechi, G. Maracchi y M.E. Almeida-Teixeira, eds. Commission of the European Communities, Luxembourg.

Blackman, R.B. y Tukey, J.W., 1958. *The Measurement of Power Spectra*, Dover Publications, New York.

Blasco, A., 1987. *La Meteorología en el Descubrimiento*. INM, Madrid.

Bloomfield, P. y Nychka, D., 1992. 'Climate Spectra and Detecting Climate Change'. *Climatic Change*, **21**, 275-287.

Boletín Meteorológico Diario, 29.11.1988. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 20.11.1989. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 07.03.1991. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 20.02.1991. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 12.03.1992. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 08.07.1992. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 17.10.1992. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 09.01.1993. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 28.02.1993. INM, Madrid.

Boletín Meteorológico Diario, 05.05.1993. INM, Madrid.

Boletín Oficial de la Provincia, 01.06.1928, Granada.

Borisenkov, E.P., 1992. 'Documentary Evidence From the U.S.S.R.'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Bosque Maurel, J., 1957. 'El Clima de Granada'. *Estudios Geográficos*, **69**, 457-482.

Bradley, R.S. y Jones, P.D., 1992a. 'Climate Since A.D. 1500: Introduction'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Bradley, R.S. y Jones, P.D., 1992b. 'Records of Explosive Volcanic Eruptions Over the Last 500 Years'. En *Climate Since A.D. 1500*. R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Braudel, F., 1972. *El Mediterráneo y el Mundo Mediterráneo en Tiempos de Felipe II*,

Fondo de Cultura Económica, México.

Braudel, F., 1985. *La Méditerranée: l'Espace et Histoire*, Flammarion, París.

Bridgman, H.A., 1983. 'Could Climatic Change Have Had an Influence on the Polynesian Migrations?'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **41**, 193-206.

Briffa, K.R., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Jones, P.D., Karlen, W., Schweingruber, F.H. y Zetterberg, P., 1990. 'A 1400-Year Tree-Ring Record of Summer Temperatures in Fennoscandia'. *Nature*, **346**, 434-439.

Briffa, K.R. y Schweingruber, F.H., 1992. 'Recent Dendroclimatic Evidence of Northern and Central European Summer Temperatures'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Brooks, C.E.P., 1949. *Climate Through the Ages*, Benn, London.

Brown, G.M. y Price, I.T., 1984. 'Solar Control of Terrestrial Temperatures'. En *New Perspectives in Climate Modelling*, A. Berger y C. Nicolis, eds. Elsevier, Amsterdam.

Budyko, M.I., 1974. *Climate and Life*, Academic Press, New York.

Camuffo, D., 1984. 'Analysis of the Series of Precipitation at Padova, Italy'. *Climatic Change*, **6**, 57-77.

Camuffo, D., 1987. 'Freezing of the Venetian Lagoon Since the 9th Century A.D. in Comparison to the Climate of Western Europe and England'. *Climatic Change*, **10**, 43-66.

Camuffo, D. y Enzi, S., 1989. 'Climate and Locust Invasions'. En *General Assembly of the EGS 13-17 March 1979*, Barcelona.

Camuffo, D. y Enzi, S., 1991. 'Locust Invasions and Climatic Factors From the Middle Ages to 1800'. *Theoretical and Applied Climatology*, **43**, 43-73.

Camuffo, D. y Enzi, S., 1992. 'Reconstructing the Climate of Northern Italy From Archive Sources'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Canellas López, A., ed., 1976. *Anales de la Corona de Aragón Compuestos por Jerónimo Zurita*, Institución "Fernando el Católico", CSIC, Zaragoza.

Capel Molina, J.J., 1972. 'Evolución y Desarrollo de la Ola de Frío del 21 de Diciembre de 1970 al 3 de Enero de 1971 Sobre la Península Ibérica'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, **2**, 69-83.

Capel Molina, J.J., 1974. 'Génesis de las Inundaciones de Octubre de 1973 en el Sureste de la Península Ibérica'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, **4**, 149-166.

Capel Molina, J.J., 1975. 'Tipos de Tiempo de Invierno en la Andalucía Atlántica'. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, CXI, 7-63.

Capel Molina, J.J., 1977. 'El Clima de la Cuenca Baja del Guadalquivir. Síntesis Geográfica.' *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 7, 307-350.

Capel Molina, J.J. y Andújar Castillo, F., 1978. 'Mapa Pluviométrico de Andalucía'. *Paralelo 37º*, 2, 197-209.

Capel Molina, J.J., 1983a. 'Situaciones Sinópticas de Lluvias Intensas en la Meseta Castellana'. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 3, 105-123.

Capel Molina, J.J., 1983b. 'La Ola de Frío de Febrero de 1983 en España'. *Paralelo 37º*, 7, 103-120.

Capel Sáez, H., 1968. 'El Comercio de la Nieve y los Pozos de Sierra Espuña (Murcia)'. *Estudios Geográficos*, 110, 123-174.

Capel Sáez, H., 1971. 'Una Actividad Desaparecida de las Montañas Mediterráneas: El Comercio de la Nieve'. *Revista de Geografía*, IV, 5-42.

Capel Sáez, H., 1980. 'La Geografía Como Ciencia Matemática Mixta. La Aportación del Círculo Jesuítico Madrileño en el Siglo XVII'. *Geocrítica*, 30.

Capel Sáez, H., ed., 1982. *Epítome de la Bibliotheca Oriental y Occidental, Nautica y Geografica de Don Antonio de Leon Pinelo*, Ed. facsímil, 2 vol., Universidad de Barcelona, Barcelona.

Castillo Requena, J.M., 1981a. 'Mecanismos de la precipitación en Sierra Nevada'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 11, 127-152.

Castillo Requena, J.M., 1981b. 'Estudio Sobre un Fenómeno Atmosférico Responsable de Intensos y Numerosos Aguaceros en la España Peninsular. La Gota Fría Via Sur'. *Paralelo 37º*, 5, 43-56.

Castillo Requena, J.M., 1983. 'Estudio Sobre las Causas de las Intensas Precipitaciones Ocurridas en Granada Durante la Jornada del 23 de Marzo de 1983'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 12-13, 57-91.

Castillo Requena, J.M., 1989. *El Clima de Andalucía*. Instituto de Estudios Almerienses, Universidad de Granada, Granada.

Castillo Requena, J.M., 1991. *Reflexiones Sobre el Tiempo y el Clima: La Abstracción Climática, la Realidad Meteorológica y la Aproximación Geográfica*. Universidad de Granada, Granada.

Castro, C. de, 1987. *El Pan de Madrid. El Abasto de las Ciudades Españolas del Antiguo*

Régimen. Alianza Editorial, Madrid.

Catchpole, A.J.W., 1992. 'Hudson's Bay Company Ships' Log-Books as Sources of sea ice Data, 1751-1870'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Cattle, H., 1991. 'Ocen Models and Ocean-Atmosphere Coupling'. En *Climatic Change and Impacts: A General Introduction*, R. Fantechi, G. Maracchi y M.E. Almeida-Teixeira, eds. Commission of the European Communities, Luxembourg.

Caviedes, C., 1991. 'Five Hundred Years of Hurricanes in the Caribbean: Their Relationship With Global Climatic Variabilities'. *Geojournal*, 23, 301-310.

Cervantes, M. de, 1615. *Don Quijote de la Mancha Segunda Parte*, Martín de riquer, ed., Planeta 1980, Barcelona.

Claxton, R.H., 1985. 'Climate and History' En *Environmental History, Critical Issues in Comparative Perspective*, K.E. Bailes, ed. University Press of America, Washington DC.

Clegg, S.L. y Wigley, T.M.L., 1984. 'Periodicities in Precipitation in North-East China 1470-1979'. *Geophysical Research Letters*, 11, 1219-1222.

Colacino, M. y Rovelli, A., 1983. 'The Yearly Averaged Air Temperature in Rome From 1782 to 1975'. *Tellus*, 35A, 389-397.

Colosía Rodríguez, M.I.P., 1978. 'La Crisis de Málaga en 1661 Según los Fondos Documentales de la Biblioteca Nacional'. *Baetica*, I, 337-357.

Colosía Rodríguez, M.I.P., 1979. 'Explotación de las Nieves en Yunquera'. *Baetica*, II(2), 169-203.

Colosía Rodríguez, M.I.P. y Gil Sanjuán, J., 1980. 'Consumo y Renta de la Nieve en el Siglo XVII'. *Hispania*, XL, 603-626.

Colosía Rodríguez, M.I.P., 1982. 'El Guadalmedina en el Siglo XVIII'. *Baetica*, 5, 171-194.

Craddock, J.M., 1979. 'Methods of Comparing Annual Rainfall Series for Climatic Purposes'. *Weather*, 34, 332-346.

Creus Novau, J. y Puigdefábregas Tomás, J., 1976. 'Climatología Histórica del Pinus Uncinata Ramond'. *Cuadernos de Investigación Colegio Universitario de Logroño*, 2, 17-30.

Creus Novau, J. y Puigdefábregas Tomás, J., 1984. 'Climatología Histórica y Dendrocronología de Pinus Nigra Arnold' En *Avances sobre la Investigación en Bioclimatología*, A. Blanco de Pablos, ed., CSIC-Universidad de Salamanca, Salamanca.

Creus Novau, J., Martí Juan, M., Fernández Cancio, M., Martín Bruno, C., Vilaplana

- Fernández, J.M., Roure Nolla, J., Burjades Casas, F. y Pérez Obiol, R., 1990. *Evolución Ecológica Durante el Holoceno y Climática del Último Milenio en el Área Mediterránea Española*, Programa de Investigación LUCDEME, CSIC-Icona, 1988-1990, Madrid.
- Currie, R.G. y O'Brien, D.P., 1992. 'Deterministic Signals in USA Precipitation Records: Part II'. *International Journal of Climatology*, 12, 281-304.
- Domínguez Bascón, P., 1986. 'Las Heladas en la Provincia de Córdoba'. *Estudios Geográficos*, 182-183, 193-210.
- Domínguez Ortiz, A., 1983. *Política y Hacienda de Felipe V*, Pegaso, Madrid.
- Domínguez Ortiz, A., 1988. *El Antiguo Régimen: Los Reyes Católicos y los Austrias*. Alianza Editorial, Madrid.
- Douglas, K.S., Lamb, H.H. y Loader, C., 1978. *A Meteorological Study of July to October 1588: The Spanish Armada Storms*, Climatic Research Unit Research Publication, University of East Anglia, Norwich.
- Duby, G., 1973. *Guerriers et paysans*, Gallimard, París. Versión española de J.L. Martín, *Guerreros y Campesinos. Desarrollo Inicial de la Economía Europea 500-1200*, 5ª ed. 1980, Siglo XXI, México.
- Durán Altisent, J.M., Molina Francés, J.A. y Yuste Molina, F., 1987. *Gran Enciclopedia de la Agricultura*, Vol. III, Edhípsa, Madrid.
- Eddy, J., 1979. 'The Maunder Minimum'. *Science*, 192, 1189.
- Enzi, S., Camuffo, D. y Bernardi, A., 1991. 'Ricostruzione Climatica del Mezzogiorno da Fonti Storiche'. En *Clima Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno*, A. Guerrini, ed. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Taormina.
- Faragó, T. y Katz, R.W., 1990. *Extremes and Design Values in Climatology*, WMO Tech. Note 386, Geneva.
- Farrington, B., 1953. *Greek Science*, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex. Versión española de E. Molina y Vedía y H. Rodríguez, *Ciencia Griega*, Librería Hachette, S.A., 1953, Buenos Aires.
- Feldmann, T.S., 1992. 'Climate and History in the Late 18th and Early 19th Centuries'. *EOS*, 73, 1-5.
- Fernández Martín, P., ed., 1971. *Anales de Madrid. Antonio de Leon Pinelo. (Desde el Año 447 al de 1658)*, Instituto de Estudios Madrileños, CSIC, Madrid.
- Flohn, H., 1981. 'Short-Term Climatic Fluctuations and Their Economic Role'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press,

London.

Flohn, H. y Weber, K.H., 1986. 'Air-Sea Interaction During the Last 100 Years and Time Scales of Climatic Fluctuations'. En *Current Issues in Climate Research*, A. Ghazi y R. Fantechi, eds. Reidel, Dordrecht.

Folland, C.K., Parker, D.E. y Kates, F.E., 1984. 'Worldwide Marine Temperature Fluctuations 1856-1981'. *Nature*, **310**, 670-673.

Folland, C.K., Karl, T.R. y Vinnikov, K.Ya., 1992. 'Variaciones y Cambios Climáticos Observados'. En *Cambio Climático. Evaluación Científica del IPCC*, INM, Madrid.

Font Tullot, I., 1986. 'Cambios Climáticos en la Península Ibérica Durante el Último Milenio con Especial Referencia a la "Pequeña Edad Glacial"'. En *Quaternary Climate in Western Mediterranean*, F. López-Vera, ed. Universidad Autónoma, Madrid.

Font Tullot, I., 1988. *Historia del Clima de España. Cambios Climáticos y sus Causas*. INM, Madrid.

Font Tullot, I., 1989. 'La Singular Persistencia de Situaciones Anticiclónicas Sobre la Península Ibérica Durante el Cuatrimestre Noviembre 1988-Febrero 1989'. *Paralelo 37º*, **11-12**, 75-84.

Fraedrich, K. y Bantzer, Ch., 1991. 'A Note on Fluctuations of the Nile River Flood Levels (715-1470)'. *Theoretical and Applied Climatology*, **44**, 167-171.

Frasetto, R., 1991. 'Human Response to Global Change'. En *Climate and Global Change*, J.C. Duplessy, A. Pons y R. Fantechi, eds. Commission of the European Communities, Luxembourg.

Friis-Christensen, E. y Lassen, K., 1991. 'Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated With Climate'. *Science*, **254**, 698-700.

Fritts, H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*, Academic Press, London.

Fritts, H.C., Lofgren, G.R. y Gordon, G.A., 1979. 'Variations in Climate Since 1602 as Reconstructed From Tree Rings'. *Quaternary Research*, **12**, 18-46.

Frontana González, J. y López Martínez, M.T., 1985. 'Persistencia de los Días con y sin Precipitación en Granada (Observatorio de Cartuja)'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, **14**, 19-55.

Frontana González, J. y López Martínez, M.T., 1986. 'Relación Entre la Persistencia de los Días de Precipitación y la Cantidad de Precipitación Apreciable en Granada (Observatorio de Cartuja)'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, **15**, 115-136.

García Cárcel, R., 1985. *La Vida en el Siglo de Oro*, Cuadernos Historia **16**, 129-130,

Madrid.

García Díez, E., Labajo Salazar, J.L., Martínez Rubio, M.A. y Martín Rodríguez, J.L., 1992. 'Primera Travesía Colombina: Aspectos Meteorológicos'. *Calendario Meteorológico 1992*, INM.

García Martín, P., 1985. *Los Campesinos del Siglo XVI*, Cuadernos Historia 16, 182, Madrid.

García de Pedraza, L. y Castillo Requena, J.M., 1981. 'Influencia de la Configuración Topográfica de la Península Ibérica en sus Caracteres Meteorológicos y Climáticos'. *Paralelo 37º*, 5, 31-41.

García de Pedraza, L., 1986. 'Interconexiones del Aire Polar con la Zona de Convergencia Intertropical'. *Estudios Geográficos*, 184, 261-275.

García de Pedraza, L. y García Vega, C., 1989. 'La Sequía y el Clima de España'. *Calendario Meteorológico 1989*, INM, Madrid.

García de Pedraza, L., García Vega, J., García Vega, C., Ruiz Beltrán, L. y García Vega, M.P., 1990. *Diez Temas Sobre Meteorología*, Servicio de Extensión Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

García de Pedraza, L. y García Vega, C., 1992. 'Contrastes Meteorológicos en la Península Ibérica: Cuenca Atlántica Frente a Zona Mediterránea'. En *Calendario Meteorológico 1992*, INM, Madrid.

García de Pedraza, L. y García Vega, C., 1993. 'La Cordillera Bética. Aspectos Meteorológicos'. En *Calendario Meteorológico 1993*, INM, Madrid.

García Sainz, L., 1943. 'El Glaciarismo Cuaternario de Sierra Nevada'. *Estudios Geográficos*, 11, 233-254.

Gavira, J., 1950. 'Las Relaciones Histórico-Geográficas de Felipe II'. *Estudios Geográficos*, 40, 551-558.

Gilliland, R.L., 1982. 'Solar, Volcanic, and CO₂ Forcing of Recent Climatic Changes'. *Climatic Change*, 4, 111-131.

Giorgi, F. y Mearns, L.O., 1991. 'Approaches to the Simulation of Regional Climate Change: A Review'. *Reviews of Geophysics*, 29, 191-216.

Giralt, E., 1958. 'En Torno al Precio del Trigo en Barcelona Durante el Siglo XVI'. *Hispania*, XVIII, 38-61.

Glaser, R. y Hagedorn, H., 1991. 'The Climate of Lower Franconia Since 1500'. *Theoretical and Applied Climatology*, 43, 101-104.

- Gleick, P.H., 1989. 'Climate Change, Hydrology, and Water Resources'. *Reviews of Geophysics*, 27, 329-344.
- Gómez Ortiz, A., 1980. 'Nota Sobre la Dinámica Periglacial en el Extremo Oriental de la Alta Alpujarra (Sierra Nevada)'. *Paralelo 37º*, 4, 191-199.
- Gómez Ortiz, A., 1987. 'Morfología Glaciar en la Vertiente Meridional de Sierra Nevada (Area Veleta-Mulhacén)'. *Estudios Geográficos*, 188, 379-407.
- Gong, G. y Hameed, S., 1991. 'The Variation of Moisture Conditions in China During the Last 2000 Years'. *International Journal of Climatology*, 11, 271-283.
- Goodman, D., 1988. *Power and Penury*, Cambridge University Press, Cambridge. Versión española de V. Navarro Brotóns, *Poder y Penuria. Gobierno, Tecnología y Ciencia en la España de Felipe II*, Alianza Editorial 1990, Madrid.
- Goosens, Ch. y Berger, A., 1986. 'Annual and Seasonal Climatic Variations Over the Northern Hemisphere and Europe During the Last Century'. *Annales Geophysicae*, 4B, 385-400.
- Gunn, J., 1991. 'Influences of Various Forcing Variables on Global Energy Balance During the Period of Intensive Instrumental Observation (1958-1987) and Their Implications for Paleoclimate'. *Climatic Change*, 19, 393-420.
- Hansen, J., Lacis, A., Ruedy, R. y Sato, M., 1992. 'Potential Climate Impact of Mount Pinatubo Eruption'. *Geophysical Research Letters*, 19, 215-218.
- Hempel, L., 1960. 'Límites Geomorfológicos Altitudinales en Sierra Nevada'. *Estudios Geográficos*, 78, 81-94.
- Henderson-Sellers, A. y McGuffie, K., 1987. *A Climate Modelling Primer*, John Wiley and Sons, New York.
- Hirschboeck, K.K., 1980. 'A New Worldwide Chronology of Volcanic Eruptions'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 29, 223-241.
- Holton, J.R., 1990. *Introducción a la Meteorología Dinámica*, INM, Madrid.
- IDEAL, 08.03.1991. *Un Muerto y Varias Carreteras Cortadas en Andalucía a Causa del Temporal de Lluvia y Viento que Hoy Puede Remitir*, pág. 7, Granada.
- IDEAL, 20.02.1992. *Intensas Nevadas en Casi Toda España. Los Agricultores Satisfechos de que Haya Terminado la Sequía*, pág. 40, Granada.
- IDEAL, 08.07.1992. *Un Aguacero de Media Hora Inunda la N-23 y Ocasiona Numerosos Destrozos en los Alrededores de Granada*, pág. 35, Granada.

IDEAL, 17.10.1992. *Una Tromba de Agua Caída en Granada Provocó Ayer el Colapso Circulatorio Más Espectacular de Todo el Año.*, pág. 7, Granada.

IDEAL, 21.01.1993. *Casi 500 Marjales de Chirimoyos, Afectados por las Heladas en Jete*, pág. 31, Granada.

IDEAL, 02.05.1993, *La Estación de Sierra Nevada Cierra Hoy la Temporada Rozando el Máximo de Nieve del Año en sus Pistas*, pág. 14, Granada.

Ingram, M.J., Underhill, D.J. y Farmer, G., 1981a. 'The use of Documentary Sources for the Study of Past Climates'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

Ingram, M.J., Farmer, G. y Wigley, T.M.L., 1981b. 'Past Climates and Their Impact on Man: A Review'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

IPCC, 1992. *Cambio Climático. Evaluación Científica del IPCC*. INM, Madrid.

Jacoby, G.C., Ivanciu, I.S. y Ulan, L.D., 1988. 'A 263-Year Record of Summer Temperature for Northern Quebec Reconstructed From Tree Ring Data and Evidence of a Major Climate Shift in the Early 1800's'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **64**, 69-78.

Jansá Guardiola, J.M., 1954. 'La Climatología Como Ciencia Geográfica'. *Estudios Geográficos*, **57**, 569-587.

Jansá Guardiola, J.M., 1968. *Manual del Observador de Meteorología*. INM, Madrid.

Jiménez Vela, R., ed., 1987. *Indices de los Libros de Cabildo del Archivo Municipal de Granada. 1518/1566*, Universidad de Granada, Granada.

Jin Qi Fang y Guo-Liu, 1992. 'Relationship Between Climatic Change and the Nomadic Southward Migrations in Eastern Asia During Historical Times'. *Climatic Change*, **22**, 151-169.

Jones, P.D. y Bradley, R.S., 1992a. 'Climate Variations Over the Last 500 Years'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Jones, P.D. y Bradley, R.S., 1992b. 'Climatic Variations in the Longest Instrumental Records'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Kane, R.P. y Teixeira, N.R., 1991. 'Power Spectrum Analysis of the Annual Rainfall Series For Massachusetts (NE USA)'. *Climatic Change*, **18**, 89-94.

Karl, T.R., Tarpley, J.D., Quayle, R.G., Díaz, H.F., Robinson, D.A. y Bradley, R.S., 1989. 'The Recent Climate Record: What it can and Cannot Tell us'. *Reviews of Geophysics*,

27, 405-430.

Katz, R.W. y Glantz, T.H., 1977. 'Rainfall Statistics, Droughts and Desertification in the Sahel'. En *Desertification: Environmental Degradation in and Around Arid Lands*, M.H. Glantz, ed. Westview Press, Boulder, Colorado.

Katz, R.W. y Brown, B.G., 1992. 'Extreme Events in a Changing Climate: Variability is More Important Than Average'. *Climatic Change*, **21**, 289-302.

Kuo, C., Lindberg, C. y Thomson, D.J., 1990. 'Coherence Established Between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature'. *Nature*, **343**, 709-713.

Kutzbach, J.E., 1976. 'The Nature of Climate and Climatic Variations'. *Quaternary Research*, **6**, 471-480.

Lacis, A., Hansen, J. y Sato, M., 1992. 'Climate Forcing by Stratospheric aerosols'. *Geophysical Research Letters*, **19**, 1607-1610.

Lamb, H.H., 1965. 'The Early Medieval Warm Epoch and its Sequel'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **1**, 13-37.

Lamb, H.H., 1977. *Climate: Present, Past and Future*, Vol. 2. Methuen, London.

Lamb, H.H., 1979. 'Climatic Variation and Changes in the Wind and Ocean Circulation: The Little Ice Age in the Northeast Atlantic'. *Quaternary Research*, **11**, 1-20.

Lamb, H.H., 1981. 'An Approach to the Study of the Development of Climate and its Impact in Human Affairs'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

Lamb, H.H., 1991. *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*, Cambridge University Press, Cambridge.

Landsberg, H.E., 1984. *Comments on Wolf's Notes for the "Maunder Minimum" of Sunspots and Retraction of Some Earlier Claims*, Tech. Note BN-1019, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland.

Legrand, J.P., LeGoff, M. y Mazudier, C., 1990. 'Is There a Relationship Between the Maunder Minimum and the Climatic Changes Observed During the XVIIth Century?'. En *Advances in Geosciences*, W. Schröder, ed., IAGA, Washington.

Le Roy Ladurie, E., 1983. *Historie du climat depuis l'an mil*, Flammarion, París. Versión española por C. López Beltrán y J. Barrales Valladares, *Historia del Clima Desde el Año Mil*, Fondo de Cultura Económica, 1990, México.

Lindesay, J.A. y Vogel, C.H., 1990. 'Historical Evidence for Southern Oscillation-Southern African Rainfall Relationships'. *International Journal of Climatology*, **10**, 679-689.

- Llasat, M.C. y Puigcerver, M., 1986. 'Gotas de Aire Frío'. *Revista de Geofísica*, **42**, 245-246.
- López Gómez, A., 1956. 'Las Heladas de Febrero de 1956 en Valencia'. *Estudios Geográficos*, **65**, 673-700.
- López Gómez, A., 1972. 'La Caña de Azúcar en Valencia y las Variaciones Climáticas'. *Estudios Geográficos*, **128**, 399-423.
- López Piñero, J.M., 1969. *La Introducción de la Ciencia Moderna en España*, Ed. Ariel, Barcelona.
- López Piñero, J.M., 1979. *Ciencia y Técnica en la Sociedad Española de los Siglos XVI y XVII*, Labor, Barcelona.
- López Vera, F., ed., 1986. *Quaternary Climate in Western Mediterranean. Proceedings of the Symposium on Climatic Fluctuations During the Quaternary in the Western Mediterranean Regions*. Universidad Autónoma, Madrid.
- Lorenz, E.N., 1976. 'Nondeterministic Theories of Climatic Change'. *Quaternary Research*, **6**, 495-506.
- Luna Díaz, J.A., 1979. 'Apuntes Para el Estudio de la Agricultura de Granada y su Tierra en los Primeros Años de la Conquista'. *Chronica Nova*, **10**, 231-248.
- Mackay, A., 1981. 'Climate and Popular Unrest in Late Medieval Castile'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Garmer, eds. Cambridge University Press, London.
- Makrogiannis, T.J., Sahsamanoglou, H.S., Flocas, A.A. y Bloutsos, A.A., 1991. 'Analysis of the Monthly Zonal Index Values and Long-Term Changes of Circulation Over the North Atlantic and Europe'. *International Journal of Climatology*, **11**, 493-503.
- Manley, G., 1974. 'Central England Temperatures Monthly Means 1659 to 1973'. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **100**, 389-405.
- Martorell, R., ed., 1931. *Anales de Madrid de Leon Pinelo. Reinado de Felipe III. Años 1598 a 1621*. Ed. Estanislao Mestre, Madrid.
- Mattingly, G., 1959. *The Defeat of the Spanish Armada*, Jonathan Cape. Versión española por J. Argente, 1985, Turner, Madrid.
- Mcbean, G. y McCarthy, J., 1992. 'Reducción de las Incertidumbres: Plan de Acción Científico Para una Mejor Predicción del Cambio Climático'. En *Cambio Climático. Evaluación Científica del IPCC*, INM, Madrid.
- McKay, G.A., 1990. *Information on Meteorological Extremes for the Design and Operation*

of Energy Systems, WMO, Tech. Note 385, Geneva.

McNab, A.L., 1989. 'Climate and Drought'. *EOS*, **70**, 873,882-883.

Meko, D.M., Stockton, N. y Boggess, W.R., 1980. 'A Tree Ring Reconstruction of Drought in Southern California'. *Water Resources Bulletin*, **16**, 594-600.

Meko, D.M., 1982. 'Drought History in the Western Great Plains From Tree Rings'. En *International Symposium on Hydrometeorology*, American Water Resources Association.

Menéndez Pelayo, M., ed., 1883. *Obras de Rodrigo Caro*, Vol. I, Sociedad de Bibliófilos Andaluces, Sevilla.

Messerli, B., 1962. 'Sierra Nevada'. *Estudios Geográficos*, **86**, 25-28.

Miró Granada Gilabert, J., 1982. 'Las Riadas de Octubre en Levante'. *Revista de Meteorología, Boletín de la A.M.E.*, Diciembre, 9-11.

Mitchell, J.M., 1969. *Climatic Change*, WMO, Tech. Note 79, Geneva.

Mitchell, J.M., 1976. 'An Overview of Climatic Variability and its Causal Mechanisms'. *Quaternary Research*, **6**, 481-493.

Mitchell, J.F.B., 1989. 'The "Greenhouse" Effect and Climate Change'. *Reviews of Geophysics*, **27**, 115-139.

Mitre, E., Azcárate, P. y Arranz, A., 1985. *Catástrofes Medievales*, Cuadernos Historia 16, 120, Madrid.

Mock, C.J., 1991. 'Historical Evidence of a Cold, Dry Summer Suring 1849 in the Northeastern Great Basin and Adjacent Rocky Mountains'. *Climatic Change*, **18**, 37-66.

Mood, A.M. y Graybill, F.A., 1970. *Introducción a la Teoría de la Estadística*, Aguilar, Madrid.

Morales Padrón, F., ed., 1981. *Memorias de Sevilla (1600-1678)*. Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba.

Moreno García, M.C., 1975. 'Distribución Espacial de los Valores Probables Anuales y Mensuales de la Precipitación en la Cuenca Granadina del Río Genil'. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, **14**, 57-83.

Murata, A., 1992. 'Reconstruction of Rainfall Variation of the "Baiu" in Historical Times'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Murata, A., 1993. 'The "Baiu" in a Historical Period From the Viewpoint of Intraseasonal Variations'. *Climatic Change*, **23**, 169-189.

Neumann, J., 1992. 'Climatic Conditions in the Alps in the Years About the Year of Hannibal's Crossing (218 BC)'. *Climatic Change*, **22**, 139-150.

Newhall, C.G. y Self, S., 1982. 'The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism'. *Journal of Geophysical Research*, **87** C2, 1231-1238.

Nicholson, S.E., 1981. 'The Historical Climatology of Africa'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

Norton, D.A., Briffa, K.R. y Salinger, M.J., 1989. 'Reconstruction of New Zealand Summer Temperatures to 1730 A.D. Using Dendroclimatic Techniques'. *International Journal of Climatology*, **9**, 633-644.

Ogallo, L.J. y Gbeckor-Kove, N., 1989. *Drought and Desertification*, WMO, Tech. Note 286, Geneva.

Ogilvie, A.E.J., 1992. 'Documentary Evidence for Changes in the Climate of Iceland A.D. 1500 to 1800'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Ortega y Sagrista, R., ed., 1983. *Historia de la Antigua y Continuada Nobleza de la Ciudad de Jaen... por el Maestro Bartolomé Ximénes Patón*. Ed. facsímil, Riquelme y Vargas, Jaen.

EL PAIS, 09.07.1992. *Las Inundaciones Dejan sin Vivienda a Varias Familias de Peligros, en Granada*. Suplemento Andalucía, pág. 1, Madrid.

EL PAIS, 06.05.1993. *El Temporal Descarga Fuertes Lluvias y Vientos en Almería*, Suplemento Andalucía, pág. 1, Madrid.

Palomares Casado, M., 1983. 'Anomalías Climáticas y Circulaciones Atmosféricas Zonales'. *Revista de Geofísica*, **39**, 181-186.

Parker, D.E., 1982. 'Large-Scale Interannual Variability of Climate'. *The Meteorological Magazine*, **111**, 193-208.

Parry, M.L., 1981. 'Climatic Change and the Agricultural Frontier: A Research Strategy'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

Pavese, M.P., Banzon, V., Colacino, M., Gregori, G.P. y Pasqua, M., 1992. 'Three Historical Data Series on Floods and Anomalous Climatic Events in Italy'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Pearman, G.I., Etheridge, D., de Silva, E. y Fraser, P.J., 1986. 'Evidence of Changing Concentrations of Atmospheric CO₂, N₂O and CH₄ From Air Bubbles in Antarctic Ice'. *Nature*, **320**, 248-250.

- Peixoto, J.P. y Oort, A.H., 1992. *Physics of Climate*, American Institute of Physics, New York.
- Pertierra, J.M., 1954. 'Variación Secular de la Lluvia en España'. *Las Ciencias*, XIX, 593-598.
- Pfister, C., 1981. 'An Analysis of the Little Ice Age Climate in Switzerland and its Consequences for Agricultural Production'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.
- Pfister, C., 1988. 'Fluctuaciones Climáticas y Cambio Histórico. El Clima en Europa Central Desde el Siglo XVI y sus Significado Para el Desarrollo de la Población y la Agricultura'. *Geocrítica*, 82.
- Pfister, C., 1992a. 'Monthly Temperature and Precipitation in Central Europe 1525-1979: Quantifying Documentary Evidence on Weather and its Effects'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Roudledge, London.
- Pfister, C., 1992b. 'Five Centuries of Little Ice Age Climate in Western Europe'. En *Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate*, T. Mikami, ed. Tokyo Metropolitan University, Tokyo.
- Pittock, A.B., 1978. 'A Critical Look at Long-Term Sun-Weather Relationships'. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 16, 400-420.
- Pittock, A.B., 1983. 'Solar Variability, Weather and Climate: an Update'. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 109, 23-55.
- Pollack, J.B., 1979. 'Climatic Change on the Terrestrial Planets'. *Icarus*, 37, 479-553.
- Porter, S.C., 1981. 'Glaciological Evidence of Holocene Climatic Change'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.
- Primault, B., 1969. 'Le Climat et la Viticulture'. *International Journal of Biometeorology*, 13, 7-24.
- Puig, I., 1951. 'Periodicidad de las Epocas Lluviosas y Secas'. *Las Ciencias*, XVI, 35-50.
- Pyle, D.M., 1992. 'On the "Climatic Effectiveness" of Volcanic Eruptions'. *Quaternary Research*, 37, 125-129.
- Quesada Casajuana, S., 1988. 'Las Historias de Ciudades: Geografía, Utopía y Conocimiento Histórico en la Edad Moderna'. *Geocrítica*, 77.
- Quinn, W.H., Neal, V.T. y Antunez de Mayolo, S.E., 1987. 'El Niño Occurrences Over the Past Four and a Half Centuries'. *Journal of Geophysical Research*, 92, 14449-14461.

- Quinn, W.H. y Neal, V.T., 1992. 'The Historical Record of El Niño Events'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.
- Rampino, M. y Self, S., 1984. 'Sulfur-rich Volcanic Eruptions and Stratospheric Aerosols'. *Nature*, **310**, 677-679.
- Reading, A.J., 1990. 'Caribbean Tropical Storm Activity Over the the Past Four Centuries'. *International Journal of Climatology*, **10**, 365-376.
- Reid, G.C., 1993. 'Do Solar Variations Change Climate?'. *EOS*, **74**, 23-24.
- Reynaud, L., 1984. 'European Glaciological Data and Their Relation with the Climate'. En *New Perspectives in Climate Modelling*, A.L. Berger y C. Nicolis, eds. Elsevier, Amsterdam.
- Richter, K. y Eckstein, D., 1990. 'A Proxy Summer Rainfall Record for Southeast Spain Derived From Living and Historic Pine Trees'. *Dendrochronologia*, **8**, 67-82.
- Risbey, J.S., Handel, M.D. y Stone, P.H., 1991. 'Should We Delay Responses to the Greenhouse Issue?'. *EOS*, **72**, 593.
- Robock, A., 1981. 'A Latitudinally Dependent Volcanic Dust Veil Index and its Effect on Climate Simulations'. *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, **11**, 67-80.
- Rodrigo, F.S., 1994. 'La Tormenta del 19 de Octubre de 1562 en La Herradura: Un Estudio Paleoclimático'. *Revista de Geofísica y Geodesia*, en prensa.
- Sáez Antequera, M.A., ed., 1988. *Indices de los Libros de Cabildo del Archivo Municipal de Granada. 1604/1618*. Excmo. Ayuntamiento de Granada, Granada.
- Sahsamanoglou, H.S., 1990. 'Contribution to the Study of Action Centres in the North Atlantic'. *International Journal of Climatology*, **10**, 247-261.
- Sahsamanoglou, H.S. y Makrogiannis, T.J., 1991. 'Temperature Trends Over the Major Mediterranean Area'. En *EGS XVI General Assembly*, Wiesbaden.
- Schönwiese, C.D., 1978. 'Central England Temperature and Sunspot Variability 1660-1975'. *Archiv für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie*, **B26**, 1-16.
- Schröder, W. y Treder, H.J., 1993. 'Comment on "Do Solar Variations Change Climate?"'. *EOS*, **74**, 275.
- Schüle, H. y Pfister, C., 1992. 'EURO-CLIMHIST- Outlines of a Multi Proxy Data Base for Investigating the Climate of Europe Over the Last Centuries'. En *European Climate Reconstructed From Documentary Data: Methods and Results*, B.Frenzel, C. Pfister y B. Gläser, eds. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Schwarz-Zanetti, W., Pfister, C., Schwarz-Zanetti, G. y Schüle, H., 1992. 'The Euro-Climhist Data Base- a Tool for Reconstructing the Climate of Europe in the Pre-Instrumental Period From High Resolution Proxy Data'. En *European Climate Reconstructed From Documentary Data: Methods and Results*, B. Frenzel, C. Pfister Y B. Gläser, eds. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

Scuderi, L.A., 1990. 'Tree-Ring Evidence for Climatically Effective Volcanic Eruptions'. *Quaternary Research*, **34**, 67-85.

Scuderi, L.A., 1992. 'Climatically Effective Volcanism'. *Quaternary Research*, **37**, 130-135.

Sebastián Amarilla, J.A., 1991. 'La Producción de Cereales en Tierras de León Durante la Edad Moderna (1570-1795)'. *Agricultura y Sociedad*, **59**, 75-117.

Serre-Bachet, F., Guiot, J. y Tessier, L., 1992. 'Dendroclimatic Evidence From Southwestern Europe and Northwestern Africa'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Servicio Meteorológico Nacional, 1943. *Las Series más Largas de Observaciones Pluviométricas*, Ministerio del Aire, Madrid.

Silverman, S., 1993. 'Is the Maunder Minimum Real?'. *EOS*, **74**, 450-461.

Sneyers, R., 1992. 'On the Use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climate Change'. *Meteorol. Zeitschrift*, **1**, 247-256.

Stahle, D.W., Cleaveland, M.K. y Cervený, R.S., 1991. 'Tree Ring Reconstructed Sunshine Duration Over Central USA'. *International Journal of Climatology*, **11**, 285-295.

STATGRAPHICS Version 5. Reference Manual, 1991. STSC Inc., USA.

Stocker, T.S. y Mysak, L.A., 1992. 'Climatic Fluctuations on the Century Time Scale: A Review of High-Resolution Proxy Data and Possible Mechanisms'. *Climatic Change*, **20**, 227-250.

Stockton, C.W. y Meko, D.M., 1983. 'Drought Recurrence in the Great Plains as Reconstructed From Long-Term Tree Ring Records'. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **22**, 17-29.

Stringer, E.T., 1972. *Techniques of Climatology*, W.H. Freeman and Company, San Francisco.

Stuiver, M., 1980. 'Solar Variability and Climatic Change During the Current Millennium'. *Nature*, **286**, 868,871.

Stuiver, M. y Braziunas, T.F., 1992. 'Evidence of Solar Activity Variations'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley, P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Tabony, R.C., 1983. 'Extreme Values Analysis in Meteorology'. *The Meteorological Magazine*, **112**, 77-97.

Taira, K., 1980. 'Environmental Changes in Eastern Asia During the Past 2000 Years: Volcanism, Tectonism, Climate and Palaeo-Oceanography'. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **32**, 89-97.

Vicens Vives, J., 1959. *Manual de Historia Económica de España*, 9ª ed., 1972, Ed. Vicens-Vives, Barcelona.

Vincent, B., 1985. *Andalucía en la Edad Moderna: Economía y Sociedad*, Excma. Diputación Provincial de Granada, Granada.

Viñas, C., 1951. 'Las Relaciones de Felipe II y su Publicación'. *Estudios Geográficos*, **42**, 131-136.

Viñas, C. y Paz, R., eds., 1971. *Relaciones Histórico-Geográfico-Estadísticas de los Pueblos de España Hechas por Iniciativa de Felipe II*, Instituto de Sociología "Balmes" e Instituto de Geografía "Juan Sebastián Elcano", CSIC, Madrid.

Wahlen, M., Allen, D., Deck, B. y Herchenroder, A., 1991. 'Initial Measurements of CO₂ Concentrations (1530 to 1940 A.D.) in Air Occluded in the GISP 2 Ice Core From Central Greenland'. *Geophysical Research Letters*, **18**, 1457-1460.

Wang, P.K. y Zhang, D., 1992. 'Reconstruction of the 18th Century Summer Precipitation of Nanjing, Suzhou and Hangzhou, China, Based on the Clear and Rain Records'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Wang, R., Wang, S.W. y Fraedrich, K., 1991. 'An Approach to Reconstruction of Temperature on a Seasonal Basis Using Historical Documents From China'. *International Journal of Climatology*, **11**, 381-392.

Wang, S.W. y Zhao, Z.C., 1981. 'Drought and Floods in China 1470-1979'. En *Climate and History*, T.M.L. Wigley, M.J. Ingram y G. Farmer, eds. Cambridge University Press, London.

Wang, W.C., Portman, D., Gong, G., Zhang, P. y Karl, T., 1992. 'Beijing Summer Temperatures Since 1724'. En *Climate Since A.D. 1500*, R.S. Bradley y P.D. Jones, eds. Routledge, London.

Wheeler, D. y Martín-Vide, J., 1992. 'Rainfall Characteristics of Mainland Europe's Most Southerly Stations'. *International Journal of Climatology*, **12**, 69-76.

Wigley, T.M.L., 1985. 'Impact of Extreme Events'. *Nature*, **316**, 106-107.

Wigley, T.M.L., Farmer, G. y Ogilvie, A.E.J., 1986. 'Climate Reconstrction Using Historical Sources'. En *Current Issues in Climate Research*, A.Ghazi y R. Fantechi, eds.

Reidel Publishing Co., Dordrecht.

Williams, C.D. y Wigley, T.M.L., 1983. 'A Comparison of Evidence for Late Holocene Summer Temperature Variations in the Northern Hemisphere'. *Quaternary Research*, **20**, 286-307.

WMO, 1990. *Report on the Meeting on Archival Survey for Climate History*, TD- No. 372, París.

Ya-Lun Chou, 1972. *Análisis Estadístico*, Interamericana, México.

Yuste Molina, F., Durán Altisent, J.M. y Soriano Pérez, J.M., 1987. *Gran Enciclopedia de la Agricultura*, Vol. IV, Edhipsa, Madrid.