

# VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES DE INVIERNO EN ANDALUCÍA DESDE EL SIGLO XVI, RELACIÓN CON FACTORES CAUSALES

Fernando SÁNCHEZ RODRIGO

*Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería*

frodrigo@ual.es

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una aproximación simple para reconstruir variables climáticas a partir de fuentes documentales. La metodología se basa en contabilizar el número de estaciones extremas en el pasado, e inferir el valor medio y la desviación típica de las variables climáticas para periodos de 30 años. El método se aplica a series de lluvias de invierno en Andalucía (sur de España) desde el siglo XVI. Se intenta encontrar relaciones entre las lluvias invernales de Andalucía y factores causales como la concentración de gases de efecto invernadero, el vulcanismo y la irradiación solar. Aunque se trata de una aproximación preliminar y son necesarios análisis más detallados, algunos resultados pueden indicarse, como el papel predominante de la actividad volcánica durante el periodo previo a 1850 (aumentando el valor medio de las precipitaciones) y de las concentraciones de gases de efecto invernadero durante el siglo XX (disminuyendo el valor medio de las lluvias de invierno).

## PALABRAS CLAVE

Climatología histórica, precipitaciones, Andalucía, variabilidad, factores causales

## ABSTRACT

In this work a simple approach to reconstruct climatic variables from documentary data is proposed. The methodology is based on accounting the number of extreme seasons in past, and inferring mean value and standard deviation of the climatic variables for 30-year periods. The method is applied to winter rainfall series in Andalusia (southern Spain) since the 16<sup>th</sup> century. An attempt is made to find relationships between Andalusian winter rainfall and radiative forcings (greenhouse-gas concentration, volcanism, solar irradiance). Although it is a preliminary approach and further analysis are needed, some results may be underlined: the prevailing role of volcanic activity prior to 1850 (increasing mean value of winter rainfall) and of greenhouse-gas forcing during the 20<sup>th</sup> century (decreasing mean value of winter rainfall).

## KEY WORDS

Historical climatology, precipitation, Andalusia, variability, forcing factors.

## 1. INTRODUCCIÓN

La influencia antropogénica sobre el clima se superpone a un fondo de variabilidad climática natural, a la cual puede amplificar o disminuir. La falta de estimaciones instrumentales previas a mediados del siglo XIX subraya la necesidad de reconstruir la historia de la variabilidad

climática a partir de datos “proxy” derivados del medio natural y de fuentes documentales (RUTHERFORD et al., 2005). Los datos documentales registran anomalías climáticas y sucesos extremos, tales como sequías e inundaciones, permitiendo relacionar estos fenómenos con los cambios climáticos. En los últimos años se ha publicado una gran cantidad de artículos usando las bases metodológicas de la climatología histórica (una revisión detallada puede encontrarse en BRÁZDIL et al., 2005). El principal objetivo de este trabajo es presentar un método que intenta reconstruir los cambios en los parámetros de localización y escala de la función de distribución representativa de la variable climática a partir del estudio de la frecuencia de sucesos extremos del pasado. El estudio se centra en Andalucía, al sur de la Península Ibérica, una región especialmente interesante para los estudios de variabilidad climática, y se centra en el régimen de precipitaciones de invierno. La aproximación es útil para capturar cambios a largo plazo. Mientras que la variabilidad interanual puede estar dominada por procesos tales como la NAO y el ENSO, la variabilidad de baja frecuencia puede estar dominada por modos que involucran a la circulación oceánica o la respuesta a factores radiativos globales (RUTHERFORD et al., 2005). Por tanto, posibles relaciones entre las series reconstruidas y factores como el vulcanismo, la irradiación solar y la concentración de gases de invernadero son investigadas.

## 2. DATOS

### 2.1. Fuentes documentales.

Registros meteorológicos fueron obtenidos a partir del análisis crítico de documentos históricos de una amplia variedad de fuentes: anales urbanos, crónicas locales, breves relatos de sucesos extremos, correspondencia privada, libros de actas municipales y eclesiásticas, etc. Estos datos se remontan a principios del siglo XVI. Los criterios seguidos al analizar la fiabilidad de las fuentes son la cercanía espacio-temporal al suceso (los autores eran testigos presenciales de los hechos narrados), la comparación cruzada de la información procedente de diferentes fuentes, y un buen acuerdo con otros datos contemporáneos, tales como los registros de producción agrícola (PONSOT, 1986). Una descripción más completa de la base de datos y los métodos de análisis puede encontrarse en RODRIGO et al. (1999) y RODRIGO (2007).

El número de inviernos secos y húmedos ( $n_d$  y  $n_w$ , respectivamente) puede determinarse a partir del análisis de las fuentes documentales. La hipótesis básica es que estos sucesos corresponden a situaciones en las cuales determinados valores umbral fueron excedidos.

### 2.2. Datos instrumentales.

Se utilizaron datos de precipitaciones acumuladas de invierno de 5 estaciones andaluzas: Sevilla, San Fernando, Málaga, Jaén y Granada. Estas series fueron elegidas porque, en términos generales, coinciden con las localizaciones de las fuentes documentales. La serie más larga es la de San Fernando, que comienza en 1821, la serie de Sevilla comienza en 1866, la de Jaén en 1868, la de Málaga en 1878, y la de Granada en 1899. Todas ellas son series de alta calidad, sin problemas de homogeneidad y/o grandes huecos (ALMARZA et al., 1996). Una serie regional desde 1821 fue obtenida promediando los correspondientes valores locales, y considerando en cada caso el número de estaciones con datos.

Un invierno fue caracterizado como seco (húmedo) si las precipitaciones eran inferiores (superiores) a un cierto valor umbral  $c_d$  ( $c_w$ ). Los valores umbral adoptados fueron los

percentiles 25 y 75 correspondientes al periodo de referencia 1961-1990 (respectivamente, 162.2 y 268.8 mm). Aquí debe señalarse que este periodo comprende algunos de los años más lluviosos del siglo XX, como los primeros años de la década de los 1960, cuando, por ejemplo, se registraron inundaciones en la cuenca del Guadalquivir (FONT TULLOT, 1988). Por otro lado, el test de Kolmogorov-Smirnov fue aplicado para comprobar la normalidad de la serie regional, obteniendo que no hay suficientes evidencias para probar que la distribución no es normal a un nivel de confianza del 95%.

### 2.3. Factores causales.

La variabilidad de la irradiancia solar fue obtenida a partir de concentraciones de <sup>10</sup>Be y observaciones históricas de manchas solares (Lean et al., 1995). El “forcing” radiativo de origen volcánico fue tomado de medidas de acidez en núcleos de hielo (CROWLY, 2000) y la concentración media de CO<sub>2</sub> se infirió a partir del análisis de burbujas de aire atrapadas en núcleos de hielo (ETHERIDGE et al., 1996). Estos datos han sido usados en varios estudios sobre causas de cambio climático en los últimos 1000 años (CROWLEY, 2000; VON STORCH et al., 2004) y están disponibles en <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/paleolast.html>. Todos los datos se expresan en unidades de W/m<sup>2</sup>.

## 3. MÉTODOS

El punto de partida del estudio consiste simplemente en contabilizar la frecuencia de inviernos extremos en el pasado pre-instrumental. Este proceso se realizó con una ventana móvil de 30 años, desde 1501-1530, hasta el último periodo 1971-2000, lo cual permite la comparación directa con el periodo de referencia, también de 30 años. Se estableció así el número  $n_d$  de inviernos secos y el número  $n_w$  de inviernos húmedos para cada periodo sucesivo de 30 años. Si  $F_X$  es la función de distribución representativa de la variable climática (lluvias totales acumuladas en invierno), los cuantiles  $q_d$  y  $q_w$  de la función de distribución, correspondientes a los extremos seco y húmedo, respectivamente, pueden encontrarse como

$$\frac{n_d}{n} = \text{Pr ob}\{X \leq q_d\} = F_X(q_d) \rightarrow q_d = F_X^{-1}\left(\frac{n_d}{n}\right)$$

$$\frac{n_w}{n} = \text{Pr ob}\{X > q_w\} = 1 - \text{Pr ob}\{X \leq q_w\} = 1 - F_X(q_w) \rightarrow q_w = F_X^{-1}\left(1 - \frac{n_w}{n}\right)$$

donde  $n$  es el número total de estaciones en el periodo elegido ( $n=30$ ). El siguiente paso es elegir una función de distribución apropiada para representar los datos. En las escalas temporales en las que estamos trabajando, el total de precipitaciones acumuladas tiende a aproximarse a la distribución normal, hipótesis que, en el caso de Andalucía, es válida para todas las estaciones del año, excepto el verano (RODRIGO, 2002) y que fue comprobada al analizar la serie regional instrumental. La distribución normal puede estandarizarse y transformarse en una distribución de media nula y desviación típica unidad, formalmente  $N(0,1)$ . Por tanto, como hipótesis básica, establecemos que

$$F = N(0,1)$$

Los cuantiles de la serie no-normalizada pueden establecerse usando que

$$c = u + sq$$

donde  $u$  es el valor medio,  $s$  la desviación típica, y  $q$  el cuantil de la  $N(0,1)$ . Por tanto,

$$c_d = u + sq_d \qquad c_w = u + sq_w$$

Si conocemos los valores  $c_d$  y  $c_w$  y determinamos  $q_d$  y  $q_w$  a partir de la frecuencia de estaciones extremas, entonces podemos obtener  $u$  y  $s$  para el periodo de tiempo elegido, en la forma

$$s = \frac{c_w - c_d}{q_w - q_d} \qquad u = c_w - sq_w = c_d - sq_d$$

En resumen, fijados los umbrales  $c_w$  y  $c_d$  como los percentiles 75 y 25 del periodo del referencia, para cada periodo de 30 años se buscan los parámetros  $u$  y  $s$  de una distribución normal para la que las probabilidades acumuladas correspondientes a los umbrales  $c_w$  y  $c_d$  coinciden con las frecuencias de inviernos húmedos y secos determinadas a partir de las fuentes.

La aplicación del método es sólo posible si tenemos suficientes datos para realizar los diferentes pasos. Por otro lado, dada la frecuencia de datos históricos que pueden encontrarse en las series históricas, el método es sólo válido cuando se consiguen largos periodos históricos (al menos a escala de décadas o interdecadas). La validación del método puede realizarse comparando con los valores de  $u$  y  $s$  correspondientes a la serie instrumental. Los resultados reflejan que las principales fluctuaciones en  $u$  y  $s$  están bien recogidas, con un coeficiente de correlación entre los valores reconstruidos y los valores observados significativo al 95% de nivel de confianza. El error cuadrático medio fue utilizado para comparar valores medidos y reconstruidos y posteriormente usado para proporcionar una estimación de la incertidumbre asociada a los valores reconstruidos del periodo pre-instrumental (para más detalles, ver RODRIGO, 2008).

Esta metodología fue aplicada a periodos consecutivos con una ventana móvil de 30 años, comenzando con 1501-1530, 1502-1531, hasta el último periodo 1971-2000. Por tanto, la reconstrucción proporciona la media móvil de 30 años para  $u$  y  $s$ . Para buscar posibles relaciones entre las lluvias de invierno en Andalucía y los factores forcing se utilizó una regresión múltiple, con los estadísticos  $u$  y  $s$  de las precipitaciones como predictandos, y la media móvil de 30 años de los “forcings” volcánico, solar y de concentraciones de  $CO_2$  como predictores.

#### 4. RESULTADOS

La Figura 1 muestra los valores medios reconstruidos junto a los límites de incertidumbre para el periodo 1501-2000. El hueco en el siglo XVII corresponde a aquellos periodos de 30 años afectados por la falta de información sobre condiciones secas ( $n_d = 0$ ) desde 1629 hasta 1668. La reconstrucción muestra las fluctuaciones temporales de las lluvias de invierno: después de varios años de condiciones predominantemente secas durante el siglo XVI, con un mínimo de las precipitaciones alrededor de 1530, un claro periodo húmedo comienza al final del siglo XVI, y permanece hasta mediados del siglo XVII. El siglo XVIII es, en general, más seco que el siglo previo. Posteriormente, las precipitaciones crecen durante las primeras décadas del siglo XIX, y a partir de aproximadamente 1870 decrecen progresivamente con una

ligera recuperación en la década de 1960. Desde las últimas décadas del siglo XIX, los valores medios son más bajos que el valor medio del periodo de referencia (= 223.6 mm). En términos generales, los valores obtenidos son más altos que este valor medio, indicando un decrecimiento general durante el siglo XX. Estos resultados fueron comparados con otros resultados de regiones próximas recogidos en la literatura, encontrando un buen acuerdo en términos cualitativos (Rodrigo, 2008). Por otro lado, estos resultados muestran un comportamiento similar al detectado en la temperatura media anual para el Hemisferio Norte (Mann et al., 1998; Crowley, 2000): pronunciados periodos fríos durante mediados de los siglos XVII y XIX, e intervalos algo más cálidos durante mediados del siglo XVI y finales del XVIII, con casi todos los años previos al siglo XX por debajo de la media climatológica del siglo XX. Por tanto, periodos húmedos (secos) en Andalucía parecen estar relacionados con periodos fríos (cálidos) en el Hemisferio Norte. Esta es una hipótesis que necesita una investigación más detallada.

Para buscar posibles relaciones entre las lluvias de invierno en Andalucía y factores “forcing”, se aplicó un modelo de regresión múltiple con el valor medio  $u$  como predictando, siendo la ecuación de regresión

$$u = A_0 + A_g G + A_v V + A_s S$$

donde los predictores  $G$ ,  $V$  y  $S$  son los “forcings” (en unidades de  $W/m^2$ ) de, respectivamente, la concentración de gases de efecto invernadero, la actividad volcánica y la irradiancia solar, y  $A_i$  son los coeficientes de la regresión. Esta aproximación empírica se basa en la fiabilidad de las reconstrucciones y en la hipótesis de una respuesta lineal y contemporánea a la acción de los factores forcing. En la medida en que la respuesta no sea contemporánea, sino que esté desfasada en el tiempo debido a la inercia de los componentes del sistema climático (como el océano, por ejemplo), los resultados deben considerarse con la debida cautela. Teniendo en cuenta que los valores de  $u$  obtenidos pueden entenderse como una media móvil, los predictores considerados fueron la media móvil de 30 años de los datos anuales. La Figura 1 muestra los datos del “forcing” volcánico, del “forcing” solar, y del “forcing” debido a las concentraciones de  $CO_2$ . La actividad volcánica de mayor impacto ocurrió en las últimas décadas del siglo XVI, en la década de los 1670, los 1690, y en el siglo XIX, con las erupciones del Tambora en 1815 y el Krakatoa en 1883. La actividad solar muestra un máximo alrededor de 1620, el conocido Mínimo Maunder (1640-1710), el Mínimo Dalton (1795-1830), un máximo alrededor de 1880 y un incremento a lo largo del siglo XX. Las variaciones de  $CO_2$  son muy pequeñas para el periodo pre-instrumental, aunque hay un ligero decrecimiento en el siglo XVII.

Los resultados de la regresión se muestran en la Tabla 1, donde se recogen las regresiones para el periodo completo, para el periodo 1501-1850 (“grosso modo” el periodo pre-instrumental) y para el periodo 1851-2000. En todos los casos la regresión fue estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99%. El signo de los coeficientes  $A_i$  permite inferir la forma en la cual el “forcing” externo afecta al valor de  $u$ : así, un incremento de la concentración de gases de efecto invernadero provoca un decrecimiento en el valor medio (y viceversa), la mayor actividad volcánica provoca un incremento de  $u$  (el “forcing” volcánico es siempre negativo, de ahí el signo negativo de  $A_v$ ), y la mayor actividad solar provoca un aumento de las precipitaciones.

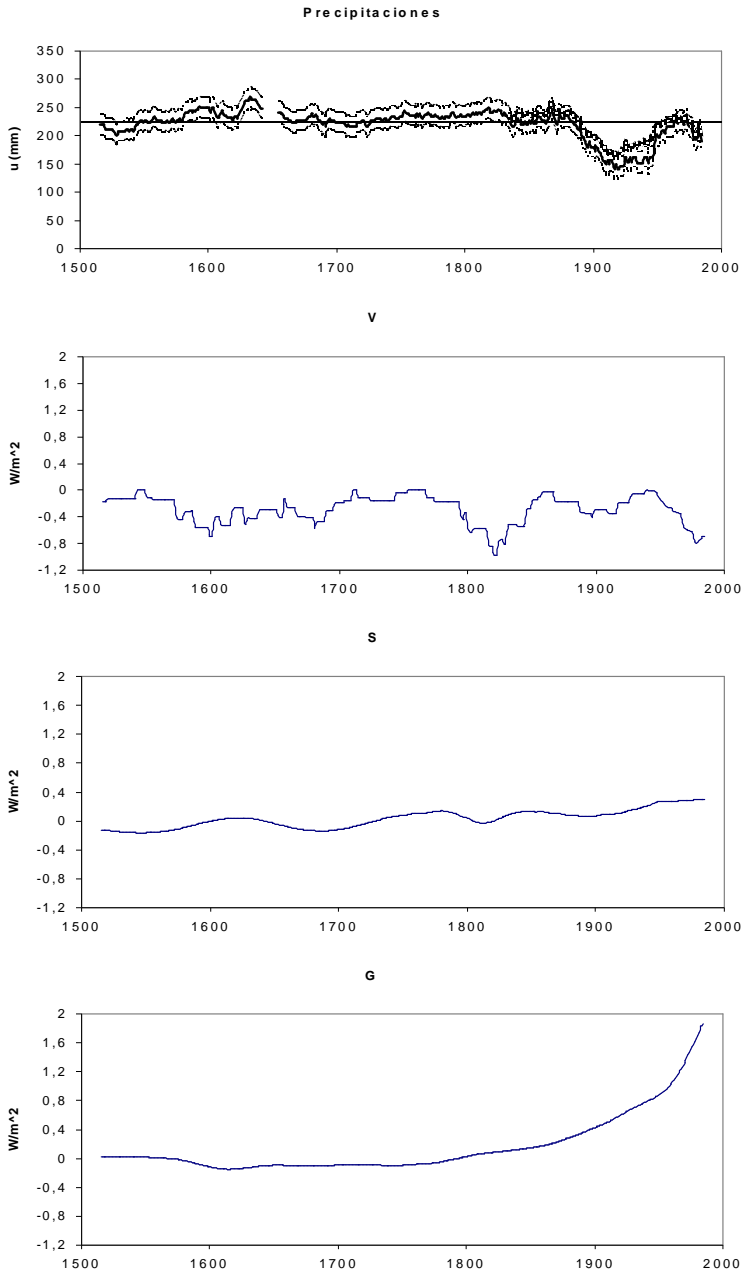


Figura 1: Medias móviles de 30 años de precipitaciones en Andalucía, (v) “forcing” volcánico, (s) “forcing” solar, (g) “forcing” de gases de invernadero.

Periodo	$A_0$ (mm)	$A_g$ (mm/Wm <sup>-2</sup> )	$A_v$ (mm/Wm <sup>-2</sup> )	$A_s$ (mm/Wm <sup>-2</sup> )	$R^2$ (%)
1501-2000	215 ± 1	-51 ± 3	-46 ± 4	+55 ± 10	47
1501-1850	223 ± 1	-44 ± 7	-30 ± 2	+60 ± 5	59
1851-2000	170 ± 5	-90 ± 10	-82 ± 12	+393 ± 50	37

Tabla 1: COEFICIENTES DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN ENTRE EL VALOR MEDIO DE LAS PRECIPITACIONES Y LOS FACTORES “FORCING” CONSIDERADOS ( $R^2$ : COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN AJUSTADO).

Al comparar la contribución relativa de cada variable independiente en la variabilidad de la variable dependiente, los resultados muestran que para el periodo completo el “forcing” de gases de efecto invernadero contribuye con un 31% a la varianza explicada, V con un 13% y S con un 3%. Los principales predictores para el periodo 1501-1850 son S con un 29% y V con un 25% de varianza explicada, mientras que G sólo contribuye con un 5%. En el periodo 1851-2000 los principales predictores son S (con un 25% de la varianza explicada) y G, que explica un 9% de la varianza, mientras que V sólo explicaría un 3% en este periodo. La actividad solar y volcánica, por tanto, parecen los principales factores del comportamiento del valor medio de las precipitaciones durante el periodo 1501-1850, mientras que el incremento de los gases de efecto invernadero parece tomar mayor importancia durante el periodo 1851-2000. La variabilidad solar presenta una importancia similar en ambos subperiodos, pero pierde importancia al compararla con los otros factores durante el periodo completo de 500 años.

## 5. DISCUSIÓN

Ha habido mucha discusión sobre el efecto de la variabilidad solar a escalas temporales entre décadas y siglos. La relación positiva encontrada entre u y S ha sido previamente notada en el análisis de la frecuencia de inundaciones en el río Tajo, con todos los episodios de máximos (mínimos) de actividad solar registrados como máximos (mínimos) de inundaciones (Vaquero, 2004). Sin embargo, algunos episodios de inundaciones están también relacionados con periodos de mínima actividad solar, y los periodos del Mínimo Maunder y el Mínimo DALTON están documentados en la Península Ibérica como periodos de alternancia entre severas sequías e intensas precipitaciones generadas por el paso de las perturbaciones atlánticas (BARRIENDOS, 1997; BENITO et al., 2004). Según LUTERBACHER et al. (2001) la variabilidad provocada por las oscilaciones de la NAO estuvo presente durante el Mínimo Maunder (1675-1710) con índices NAO principalmente negativos, lo que provocaría lluvias intensas en Andalucía. En nuestro caso, el valor de u encontrado para el periodo 1681-1710 es de 230.5 mm, un valor ligeramente superior al del periodo de referencia ( $u = 223.6$  mm). Junto a las variaciones solares, se cree que la frecuencia y magnitud de las grandes erupciones volcánicas contribuyó de forma significativa a la variabilidad climática a escala de décadas durante la Pequeña Edad de Hielo, y en particular durante el Mínimo Maunder, con importantes erupciones en las décadas de los 1670 y los 1690. La influencia del vulcanismo detectada aquí ha sido previamente encontrada en estudios sobre la Pequeña Edad de Hielo (MANN et al., 1998; PFISTER AND BRÁZDIL, 1990; CROWLEY, 2000). En el siglo XX,

aunque tanto la actividad solar como el “forcing” volcánico juegan un cierto papel en el comportamiento de los valores medios de las precipitaciones, el “forcing” de los gases de invernadero parece jugar un papel predominante, con una tendencia al decrecimiento de las lluvias de invierno en Andalucía. No obstante, el porcentaje de varianza explicada por el modelo lineal en el periodo instrumental es tan sólo del 37%. Este resultado, así como el hecho de que el “forcing” de gases de efecto de invernadero sea monótono creciente, mientras que éste no es el caso de las precipitaciones, llevan a pensar en otros mecanismos causales (por ejemplo, aquellos asociados a la variabilidad natural del sistema climático, las interacciones océano-atmósfera, o aspectos locales) como principales responsables de la variabilidad de las precipitaciones en la región. Por tanto, los resultados aquí presentados son preliminares por cuanto pueden revisarse algunos aspectos relacionados con la metodología empleada, como, por ejemplo, la elección del periodo de referencia, los valores umbral para definir los extremos, una función de distribución adecuada, o la incorporación de otros mecanismos causales. Estos aspectos, junto a un análisis más profundo de las posibles relaciones con los “forcings” climáticos deberán estudiarse en posteriores trabajos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto CGL2007-65546-C03-01/CLI.

## 7. REFERENCIAS

- ALMARZA, C.; LÓPEZ, J.A.; FLORES, C. (1996) *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación en España*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid
- BARRIENDOS, M. (1997). “Climate variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): an analysis of data from rogation ceremonies”. *The Holocene* 7, pp. 105-111
- BENITO, G.; DíEZ-HERRERO, A.; FERNÁNDEZ DE VILLALTA, M. (2003) “Magnitude and Frequency of Flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the Last Millenium”. *Clim. Change* 58, pp. 171-192
- BRÁZDIL, R.; PFISTER, C.; WANNER, H. (2005). “Historical Climatology in Europe-the state of the art”. *Clim. Change* 70, pp. 363-430.
- CROWLEY, T.J. (2000). “Causes of climate change over the past 1000 years”. *Science* 289, pp. 270-277
- ETHERIDGE, D.M.; STEELE, L.P.; LANGENFIELDS, R.L. (1996). “Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO<sub>2</sub> over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn”. *J. Geophys. Res.* 101, pp. 4115-4128
- FONT TULLOT, I. (1988). *Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- LEAN, J.; BEER, J.; BRADLEY, R. (1995). “Reconstruction of solar irradiance since 1610 : implications for climate change”. *Geophys. Res. Lett.* 22, pp. 3195-3198.
- LUTERBACHER, J.; RICKLI, R.; XOPLAKI, E. (2001). “The Late Maunder Minimum (1675-1715)- a key period for studying decadal scale climatic change in Europe”. *Clim. Change* 49, pp. 441-462.



- MANN, M.E.; BRADLEY, R.S.; HUGHES, M.K. (1998). "Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries". *Nature* 392, pp. 779-787.
- PFISTER, C.; BRÁZDIL, R. (1999). "Climatic variability in sixteenth century Europe and its social dimension: a synthesis." *Clim. Change* 43, pp. 5-53.
- PONSOT, P. (1986). *Atlas de historia económica de Andalucía (siglos XVI-XIX)*. Editoriales Andaluzas Unidas, Granada.
- RODRIGO, F.S.; ESTEBAN-PARRA, M.J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; CASTRO-DÍEZ, Y. (1999). "A 500-year precipitation record in southern Spain". *Int. J. of Climatol.* 19, pp. 1233-1253.
- RODRIGO, F.S. (2002). "Changes in climate variability and seasonal rainfall extremes: a case study from San Fernando (Spain), 1821-2000". *Theor. And Appl. Climatol.* 72, pp. 193-207
- RODRIGO, F.S. (2007). "El clima de Andalucía a través de los registros históricos". En: SOUSA, A.; GARCÍA-BARRÓN, L.; JURADO, V. (Eds.) *El Cambio Climático en Andalucía: Evolución y Consecuencias Medioambientales*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 23-41.
- RODRIGO, F.S. (2008). "A new method to reconstruct low-frequency climatic variability from documental sources: application to winter rainfall series in Andalusia (Southern Spain) from 1501 to 2000". *Clim. Change*, 87, pp. 471-487.
- RUTHERFORD, S.; MANN, M.E.; OSBORN, T.J. (2005). "Proxy-based Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: sensitivity to method, predictor network, target season, and target domain". *J. Clim.* 18, pp. 2308-2329.
- VAQUERO, J.M. (2004). "Solar signal in the number of floods recorded for the Tagus river basin over the last millennium." *Clim. Change* 66, pp. 23-26.
- VON STORCH, H.; ZORITA, E.; JONES, J.M. (2004). "Reconstructing past climate from noisy data". *Science* 306, pp. 679-682