RECONSTRUCCIÓN, HOMOGENEIDAD Y TENDENCIAS DE LAS SERIES HISTÓRICAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA EN LA ESPAÑA PENINSULAR Y LAS ISLAS BALEARES

M. Yolanda LUNA, José Antonio GUIJARRO y José Antonio LÓPEZ DÍAZ Agencia Estatal de Meteorología mlunar@aemet.es, jguijarrop@aemet.es, jlopezd@aemet.es

RESUMEN

El desarrollo de bases de datos climáticos homogéneos con un largo recorrido temporal es un paso previo imprescindible anterior en el análisis de la variabilidad climática y en la obtención de escenarios de cambio climático regionalizados. El objetivo de este trabajo es la compilación y reconstrucción de una base de datos compuesta por 66 series centenarias de precipitación mensual acumulada que cubre la España peninsular y las Islas Baleares. El paquete CLIMATOL V2.1 perteneciente al software estadístico R es utilizado para el proceso de detección y ajuste de las inhomogeneidades de las series y su reconstrucción. El análisis de las tendencias en las series anuales indica gran variabilidad espaciotemporal. Se observan tendencias positivas para el periodo 1901-2010 en el norte de España y negativas en el sur y Baleares. Para el periodo 1951-2010, las tendencias observadas son negativas, siendo solo significativas en 10 de las 66 series analizadas. Es de destacar que en ninguno de los periodos analizados, la distribución espacial de las tendencias positivas o negativas corresponde con alguna de las zonas climáticamente homogéneas definidas por varios autores.

Palabras clave: Series históricas, Precipitación, Homogeneidad, Tendencia, España.

ABSTRACT

There is a clear necessity of a set of long time precipitation series before to realise any statistically robust analysis of climatic variability and to obtain regionalised climate change scenarios. The purpose of this work is the compilation and reconstruction of a dataset integrated by 66 long monthly precipitation series, which covers mainland Spain and the Balearic Islands. The R-package CLIMATOL V2.1 is used in order to detect, and adjust for, possible multiple change points or shifts that could exist in the precipitation series and their reconstruction. The analysis of annual precipitation trends indicates a high spatial and temporal variability. Positive trends can be detected in the northern Spain and negative ones in the south and the Balearics for 1902-2010 period. Negative trends dominate for the period 1951-2010, but not for all observatories, only in 10 of 66. It is worthwhile to note that the spatial distribution of the trends doesn't correspond to the three climatic areas determined by several authors.

Key words: Historical series, Precipitation, Homogeneity, Trend, Spain.

1. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global posiblemente producirá cambios en el ciclo hidrológico en general y en la precipitación en particular. Aunque no se produzcan cambios en la cantidad total de precipitación 500 M. Y. Luna et al

recogida, con gran probabilidad se esperan cambios en su distribución espacial, en la frecuencia de días de precipitación y en la tasa de precipitación (IPCC, 2007). Según las predicciones de los modelos globales, la precipitación en la región mediterránea disminuirá como respuesta el calentamiento global de origen antropogénico ya que se espera un desplazamiento hacia el norte de la célula de Hadley. Sin embargo, hasta ahora en España no se ha detectado ningún descenso claro y significativo en la cantidad de precipitación recogida. La gran variabilidad interanual y el reducido tamaño de las series instrumentales de precipitación en España impiden la detección realista de las posibles tendencias (CLIVAR España, 2010). Por todo esto surge la necesidad de disponer de series históricas de precipitación que abarquen al menos todo el siglo XX. El objetivo de este trabajo es revisar, extender y mejorar las series históricas de precipitación anual y mensual en España que se mostraron en el trabajo de ALMARZA et al. (1996). Estas series son de vital importancia para un análisis consistente y robusto de la variabilidad y la tendencia de la precipitación. El resultado de este trabajo mostrará un conjunto de 66 series largas de precipitación mensual que se extienden sobre la España peninsular y las Islas Baleares. Se pretende que este conjunto de series históricas se utilicen como referencia en estudios climáticos y para ello estarán a disposición de la comunidad científica.

2. DATOS Y PROCESO DE RECONSTRUCCIÓN

Los datos de precipitación utilizados han sido extraídos del Banco de Datos Climatológicos de la Agencia estatal de Meteorología (AEMET). Las series de precipitación contenidas en el Banco de Datos son muy irregulares, con diferente recorrido temporal, cantidad de lagunas en los datos, fechas de comienzo y fin de la observación, etc. Esto dificulta enormemente su análisis y tratamiento. Sin embargo, las observaciones contienen bastante información de calidad como para formar a partir de todas ellas un conjunto de series suficientemente largas. Una serie puede ser reconstruida a partir de un número de series más cortas pero cuya situación geográfica sea cercana. La reconstrucción está basada en la hipótesis de que el cese de un observatorio suele estar acompañado del comienzo o la continuación de un observatorio en un lugar suficientemente cercano. Si el emplazamiento de los observatorios es próximo, las diferencias en las cantidades de precipitación mensual son normalmente pequeñas, salvo excepciones debidas a un terreno muy complejo. Las series reconstruidas se atribuyen al último observatorio que esta en activo y que muy probablemente continuará en el futuro. Bajo esta hipótesis y siguiendo un criterio de máxima antigüedad en las series, se han reconstruido 65 series de precipitación mensual distribuidas por el territorio peninsular y las Baleares, con diferente fecha de comienzo y finalizando en diciembre de 2010. En la Tabla 1 se detallan los nombres, la situación geográfica y la fecha de comienzo de cada una de las series compiladas. Estas series poseen una longitud superior a los 90 años y el número de lagunas en la serie es inferior al 10%, estando muchas de estas lagunas situadas en el periodo de la guerra civil española. La Figura 1 muestra la distribución espacial de las series junto con la orografía. En esta figura se ve claramente que el área de estudio está situada entre dos masas de agua diferentes, el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, y que la orientación espacial de las principales cadenas montañosas es de este a oeste en general, salvo cerca de la costa mediterránea en la que se disponen fundamentalmente de norte a sur. Estos condicionantes geográficos son esenciales para entender la alta variabilidad espacial de la precipitación en el territorio (FONT, 2000) y la existencia de tres regiones climáticas diferentes en cuanto a comportamiento de la precipitación: la zona NE, la zona SW y central y la zona mediterránea que incluye las Islas Baleares (Morata el al., 2006).

| ID | Latitud | Longitud | Nombre | Fecha | ID | Latitud | Longitud | Nombre | Fecha |
|----|---------|----------|------------------|-------|----|---------|----------|----------------|-------|
| 1 | 38,95 | -1,85 | Albacete | 1866 | 34 | 42,58 | -5,65 | Leon | 1899 |
| 2 | 38,37 | -0,48 | Alicante | 1856 | 35 | 41,62 | 0,58 | Lleida | 1913 |
| 3 | 38,77 | -4,83 | Almaden | 1913 | 36 | 42,45 | -2,32 | Logroño | 1911 |
| 4 | 36,83 | -2,38 | Almeria | 1911 | 37 | 43,25 | -7,48 | Lugo | 1914 |
| 5 | 37,88 | -6,55 | Aracena | 1913 | 38 | 40,4 | -3,67 | Madrid | 1859 |
| 6 | 40,65 | -4,68 | Avila | 1901 | 39 | 39,88 | 4,25 | Mahon | 1865 |
| 7 | 38,87 | -6,97 | Badajoz | 1864 | 40 | 36,72 | -4,48 | Malaga | 1878 |
| 8 | 41,28 | 2,12 | Barcelona | 1850 | 41 | 37,97 | -1,12 | Murcia | 1863 |
| 9 | 43,3 | -2,92 | Bilbao | 1859 | 42 | 42,72 | -3,4 | Oña | 1882 |
| 10 | 42,33 | -3,62 | Burgos | 1862 | 43 | 42,32 | -7,85 | Ourense | 1901 |
| 11 | 43 | -4,13 | Bustamante | 1912 | 44 | 43,35 | -5,87 | Oviedo | 1851 |
| 12 | 42,45 | 0,98 | Cabdella | 1915 | 45 | 42 | -4,53 | Palencia | 1913 |
| 13 | 39,47 | -6,37 | Caceres | 1907 | 46 | 39,55 | 2,62 | Palma Mallorca | 1862 |
| 14 | 42,75 | -0,52 | Canfranc | 1910 | 47 | 42,76 | -1,63 | Pamplona | 1881 |
| 15 | 39,95 | -0,07 | Castellon | 1911 | 48 | 42,43 | -8,6 | Pontevedra | 1901 |
| 16 | 43,52 | -7,02 | Castropol | 1924 | 49 | 40,93 | -5,48 | Salamanca | 1865 |
| 17 | 37,9 | -3 | Cazorla | 1884 | 50 | 36,45 | -6,2 | San Fernando | 1817 |
| 18 | 38,08 | -1,78 | Cehegin | 1913 | 51 | 43,3 | -2,03 | San Sebastian | 1878 |
| 19 | 42,8 | -4,48 | Cervera Pisuerga | 1912 | 52 | 43,45 | -3,82 | Santander | 1912 |
| 20 | 38,98 | -3,92 | Ciudad Real | 1866 | 53 | 42,88 | -8,42 | Santiago | 1906 |
| 21 | 37,83 | -4,85 | Cordoba | 1894 | 54 | 40,95 | -4,12 | Segovia | 1901 |
| 22 | 43,37 | -8,42 | Coruña | 1877 | 55 | 37,4 | -6 | Sevilla | 1866 |
| 23 | 40,07 | -2,13 | Cuenca | 1908 | 56 | 41,77 | -2,48 | Soria | 1865 |
| 24 | 41,1 | -1,4 | Daroca | 1909 | 57 | 39,92 | -4,87 | Talavera | 1912 |
| 25 | 43,53 | -5,63 | Gijon | 1913 | 58 | 40,35 | -1,12 | Teruel | 1978 |
| 26 | 41,97 | 2,8 | Girona | 1912 | 59 | 39,88 | -4,03 | Toledo | 1909 |
| 27 | 37,18 | -3,6 | Granada | 1898 | 60 | 40,82 | 0,48 | Tortosa | 1880 |
| 28 | 36,75 | -5,2 | Grazalema | 1912 | 61 | 39,47 | -0,37 | Valencia | 1859 |
| 29 | 40,65 | -3,17 | Guadalajara | 1911 | 62 | 41,63 | -4,77 | Valladolid | 1962 |
| 30 | 40,27 | -5,85 | Hervas | 1913 | 63 | 41,62 | -3,48 | Vid de Aranda | 1883 |
| 31 | 37,25 | -6,9 | Huelva | 1903 | 64 | 41,48 | -5,75 | Zamora | 1909 |
| 32 | 42,08 | -0,32 | Huesca | 1860 | 65 | 41,65 | -1 | Zaragoza | 1858 |
| 33 | 37,77 | -3,8 | Jaen | 1867 | 66 | 36,15 | -5,35 | Gibraltar | 1852 |

Tabla 1: Series de precipitación reconstruidas con indicación de coordenadas geográficas, nombre, fecha de comienzo de la serie e ID representado en la figura 1.

Los datos del observatorio de Gibraltar han sido incluidos debido a que se trata de una serie muy larga que comienza en el siglo XIX. Estos datos han sido extraídos de The Global Historical Climatology Network (GHCN-Monthly) Database of the Climate Services and Monitoring Division (NOAA). Incluyendo estos datos y las 65 series españolas se ha formado un archivo de metadatos que contiene toda la información relativa a las series originales utilizadas para reconstruir las series históricas.

M. Y. Luna et al

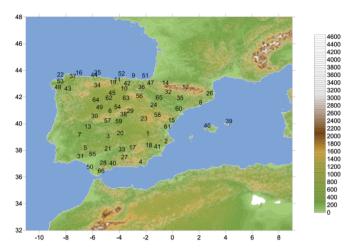


Fig. 1: Distribución geográfica de las 66 series de precipitación en la España peninsular y Baleares; el número indica el observatorio detallado en la Figura 1. La orografía se muestra mediante una escala de colores.

| ID | NOMBRE | Nº SALTOS | FECHA1 | FECHA2 | FECHA3 | FECHA4 | FECHA5 | FECHA6 |
|----|---------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22 | CORUÑA | 6 | 1893 | 1916 | 1935 | 1942 | 1956 | 1981 |
| 43 | OÑA | 4 | 1958 | 1959 | 1999 | 1995 | | |
| 20 | CIUDAD REAL | 3 | 1872 | 1880 | 1906 | | | |
| 34 | LINARES | 3 | 1904 | 1938 | 1939 | | | |
| 35 | LEON | 3 | 1905 | 1920 | 1932 | | | |
| 38 | LUGO | 3 | 1938 | 1985 | 1987 | | | |
| 48 | PAMPLONA | 3 | 1933 | 1941 | 1983 | | | |
| 54 | SANTIAGO | 3 | 19884 | 1956 | 2006 | | | |
| 13 | CACERS | 2 | 1910 | 1914 | | | | |
| 14 | CANFRANC | 2 | 1931 | 1994 | | | | |
| 27 | GRANADA | 2 | 1938 | 1939 | | | | |
| 52 | SAN SEBASTIAN | 2 | 1922 | 1924 | | | | |
| 2 | ALICANTE | 1 | 1857 | | | | | |
| 6 | AVILA | 1 | 1907 | | | | | |
| 7 | BADAJOZ | 1 | 1872 | | | | | |
| 28 | GRAZALEMA | 1 | 1944 | | | | | |
| 32 | HUESCA | 1 | 1860 | | | | | |
| 36 | LLEIDA | 1 | 1935 | | | | | |
| 37 | LOGROÑO | 1 | 1911 | | | | | |
| 45 | OVIEDO | 1 | 1858 | | | | | |
| 50 | SALAMANCA | 1 | 1909 | | | | | |
| 51 | SAN FERNADO | 1 | 1884 | | | | | |
| 55 | SEGOVIA | 1 | 1967 | | | | | |
| 56 | SEVILLA | 1 | 1875 | | | | | |
| 57 | SORIA | 1 | 1882 | | | | | |
| 58 | TALAVERA | 1 | 1997 | | | | | |
| 64 | ZAMORA | 1 | 1948 | | | | | |
| 63 | VALLADOLID | 1 | 1924 | | | | | |
| 65 | ZARAGOZA | 1 | 1865 | | | | | |

Tabla 2: Inhomogeneidades detectadas por Climatol.

3. PROCESO DE HOMOGENEIZACIÓN

Lógicamente, el conjunto resultante de 66 series largas contendrán inhomogeneidades que deben ser identificadas y eliminadas para que el análisis posterior sea consistente. El paquete CLIMATOL V2.1 perteneciente al software estadístico R es utilizado para el proceso de detección y ajuste de las inhomogeneidades que las series reconstruidas pudieran contener. El método realiza un proceso automático iterativo consistente en: el cálculo de cada serie, como si no existiera, por interpolación de datos estandarizados de series vecinas; el análisis de las diferencias entre las series calculadas y las observadas para detectar datos erróneos, saltos en la media, y tendencias; y por último el relleno automático de las lagunas de datos, y la corrección de los errores aislados (GUIJARRO, 2011). Se utilizan solo las series más cercanas incluso si el periodo común es corto, hecho que limitaría el uso de coeficientes de correlación en la reconstrucción. Este método presenta la gran ventaja de poder utilizar el total de los datos contenidos en el banco de datos climatológicos de AEMET. La metodología de homogeneización conlleva tres pasos: cálculo de una regresión tipo II (Sokal and Rohlf, 1969), estimación de los datos faltantes y los datos extremos, y detección y corrección de los saltos en las series. Se han encontrado inhomogeneidades en 29 de las 66 series (un 44% del total), aunque sólo 12 de ellas presentan más de un salto en la media, de las cuales una presenta cuatro saltos y otra seis. En la Figura 2 se puede observar un ejemplo de detección de saltos en la serie de anomalías de Salamanca y la correspondiente reconstrucción de las series a partir de cada fragmento: en negro aparecen los datos originales (inhomogéneos), mientras que en rojo se representa la reconstrucción de la serie a partir del primer fragmento (hasta febrero de 1909), y en verde la reconstrucción a partir del segundo (desde marzo de 1909). Las series que se analizarán en el siguiente apartado es la formada por el último tamo de la serie en negro unido al tramo verde, de forma que los valores medidos en el fututo continúen la serie cumplimentando el objetivo inicialen el que las series reconstruidas se atribuyen al último observatorio que está en activo y que muy probablemente continuará en el futuro.

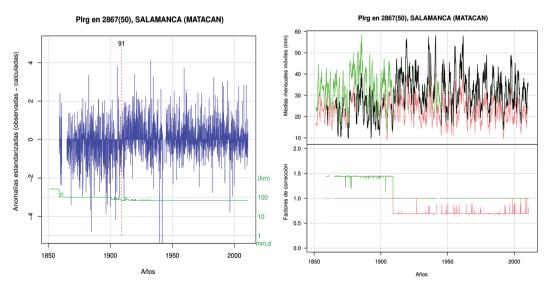


FIG. 2: Ejemplo del proceso de homogeneización y reconstrucción para el observatorio de Salamanca. a) Detección de un salto en la media en el año 1909; b) Reconstrucción de las series de cada fragmento y factores de corrección aplicados (datos originales en negro).

504 M. Y. Luna et al

4. ANÁLISIS DE TENDENCIAS

La magnitud de las tendencias observadas ha sido calculada mediante una regresión lineal en dos periodos temporales distintos: 1902-2010 and 1951-2010. El primer periodo comprende casi todo el siglo XX, mientras que el segundo se elige debido a que ha sido utilizado en bastantes análisis similares llevados a cabo por diferentes autores. La significancia estadística de las tendencias se calcula mediante el test de Mann-Kendall. El p-valor de este test se representa en los mapas de tendencias como el valor absoluto del logaritmo en base 10, de forma que son significativos al 5% los valores superiores a 1,3. Se les ha añadido un signo de forma que tendencias negativas van acompañadas de un menos y las positivas de un mas. En general, como puede observarse en las Figuras 3 y 4, las tendencias obtenidas para las series de precipitación anual acumulada son significativas solo en algunos observatorios, no detectándose un comportamiento homogéneo en el área en estudio.

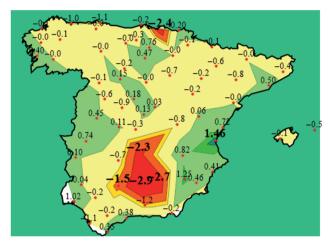


Fig. 3: Mapa de tendencias en la precipitación anual para el periodo 1902-2010. Los valores representan el valor absoluto del logaritmo en base 10 del p-valor, siendo significativos al 5% los valores superiores a 1.3.

El signo indica el sentido de la tendencia.

Para el siglo XX (Figura 3) solo se observan tendencias negativas significativas en algunos observatorios del sur peninsular. Estos resultados coinciden con los descritos para la variabilidad de la precipitación en ESTEBAN-PARRA et al. (1998) en el que se describían tendencias negativas en el sur y positivas en el norte al analizar series de precipitación anual desde 1880. Sin embardo, en la segunda mitad del siglo XX (Figura 4) las tendencias significativas observadas en la precipitación anual acumulada son todas negativas extendiéndose por todo el territorio aunque no en todos los observatorios, excepto en el observatorio de Ávila que es claramente positiva. Este observatorio de encuentra a 1130m de altitud en la ladera norte del Sistema Central y este valor positivo puede ser debido a efectos orográficos. Aún así, debe tenerse en cuenta que únicamente en 10 de los 66 la tendencia es estadísticamente significativa. Estas tendencias negativas han sido detectadas por varios autores como se sintetiza en los trabajos de CLIVAR-España (2010) y en CUADRAT y MARTÍN-VIDE (2007). Es destacable como en ninguno de los periodos temporales analizados, la distribución espacial de las tendencias positivas o negativas se corresponde con alguna de las regiones pluviométricas climáticamente homogéneas descritas en MORATA el al. (2006).

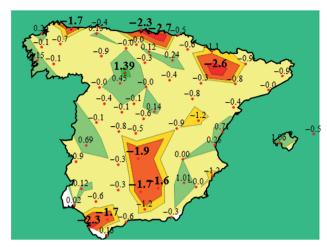


Fig. 4: Igual que la Figura 3 excepto para el periodo 1951-2010.

Cuando se analizan las tendencias en las series de precipitación mensual acumulada para el periodo 1902-2010 (Figura 5) se observa como las tendencias son claramente significativas y negativas en el mes de marzo para toda la zona oeste-centro de la península. Este resultado ya ha sido detectado por otros autores (CLIVAR España, 2010). Sin embargo en los demás meses no hay tendencias significativas destacables.

5. CONCLUSIONES

Se ha construido una base datos de series históricas de precipitación en la España peninsular y Baleares utilizando el paquete estadístico CLIMATOL V2.1. Se ha comprobado que este paquete es una herramienta muy útil para la homogeneización y la estimación de los datos faltantes en las series climáticas y que posee la ventaja de poder utilizar la máxima información contenida en el Banco de Datos Climatológico de AEMET.

No se ha detectado un patrón homogéneo en España en la distribución espacial de las tendencias estadísticamente significativas: depende del periodo temporal elegido, por lo que se puede afirmar que las tendencias observadas no son consistentes, sino que son debidas a la gran variabilidad que caracteriza a la precipitación en las regiones mediterráneas. Se observan que las tendencias estadísticamente significativas son mayoritariamente negativas en el periodo 1951-2010, resultado consistente con otros autores. Las décadas de los 1960 y 1970 fueron excepcionalmente lluviosas, no encontrándose valores de precipitación tan elevados en los registros más antiguos. Sin embargo, las décadas siguientes, entre 1980 y 1990, fueron muy secas, pero con valores similares a otras épocas secas observables en las series centenarias. Estos dos hechos unidos, provocan las tendencias negativas observadas en la segunda mitad del siglo XX. Realmente se detecta una elevada variabilidad decadal en la precipitación y no se puede afirmar, de los resultados de este estudio, que exista una reducción significativa en las cantidades de precipitación recogidas en España aunque hay signos claros de un cambio en la distribución temporal de las cantidades con un descenso claro de la precipitación recogida en el mes de marzo.

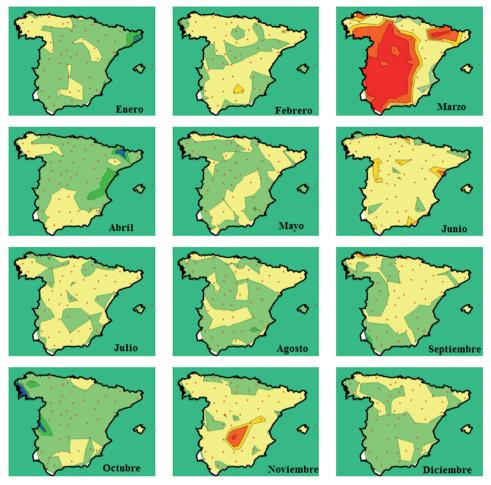


Fig. 5: Tendencias observadas para el periodo 1902-2010 en los diferentes meses, de enero a diciembre. La escala de colores indica las tendencias al igual que la Figura 3.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Climate Services and Monitoring Division de NOAA por los datos del observatorio de Gibraltar que pueden ser descargados de su servidor http://www.ncdc.noaa.gov/ghcnm/.

REFERENCIAS

Almarza, C.; López-Díaz, J. A. y Flores, C. (1996). Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España. Monografía Técnica A-143 Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, ISBN 8449802210.

Clivar España (2010). Climate in Spain: past, present and future. Regional climate change assessment report. Editors: F. F. Pérez and R. Boscolo, Spain, 85 pp. ISBN:978-84-614-8115-6. On-Line: http://www.clivar.es. Cuadrat, J. M. y Martín-Vide, J. (Edit.) (2007). Spanish Climatology. Past, Present and Future. P.U.Z. Zaragoza, 575 p.

Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S. y Castro-Díez, Y. (1998). Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. Int. J. Climatol., 18, 1557-1574.

- Font, I. (2000). Climatología de España y Portugal. 2nd edn. Ediciones Universidad de Salamanca, Spain. 422 pp.
- Guijarro, J. A. (2011). User's guide to Climatol V2.0. An R contributed package for homogenization of climatological series (and functions for drawing wind-rose and Walter&Lieth diagrams), http://webs.ono.com/climatol/climatol.html., 2011.
- IPCC: Climate Change (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Morata, A.; Martín, M. L.; Luna, M. Y. y Valero, F. (2006). "Self-Similarity patterns of precipitation in the Iberian Peninsula". Theoretical and Applied Climatology, 85, 41-59.
- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (1969). *Introduction to Biostatistics*, 2nd edn., Ed. Freeman, W. H., New York, 363 pp.