

ANÁLISIS DE SERIES DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

Roberto RODRÍGUEZ
M^a. Carmen LLASAT

Departamento de Astronomía y Meteorología. Univ. Barcelona.

RESUMEN: Este trabajo presenta la metodología empleada en el análisis de series temporales de variables meteorológicas y está basado en el tratamiento realizado a series de diferentes características. Se parte de un tratamiento previo, donde se estudian las condiciones de continuidad y homogeneidad y se tipifican para su posterior análisis temporal, donde básicamente se estudian las tendencias y anomalías, y análisis espectral, donde se presentan los métodos más adecuados a cada tipo de serie.

ABSTRACT: The use of a correct methodology is determinant in the results obtained from the study of meteorological time series. First of all is need the data previous correction, and the analysis of the continuity and homogeneity features. Afterwards, a study of the series trends and temporal distribution of anomalies has been done. The methodology proposed ends with the specific spectral analysis in order to find some periodicities or trends (if they exist).

INTRODUCCIÓN.

El estudio de la evolución de las variables meteorológicas, en particular de temperatura y precipitación es, desde hace algunos años, el centro de atención de la comunidad científica, tanto por sí mismo como por su estrecha relación con la evaluación del Cambio Climático.

Sin embargo su estudio resulta ciertamente complejo por carecer de conjuntos de series distribuidos homogéneamente tanto espacial como temporalmente. Así, sería deseable tener una red equiespaciada, continua y homogénea de registros de temperaturas medias y extremas, precipitación total e intensidad para evaluar las fluctuaciones de dichas variables en espacio y tiempo y poder precisar la magnitud real del Cambio Climático, si ha lugar, tanto a nivel local como regional y global. Sin embargo y como es de suponer, no se dispone de dicha utopía. El análisis de series cronológicas se ha de realizar sobre las que se

dispone, generalmente pocas, con longitudes variables y con unas inhomogeneidades y discontinuidades propias, por lo que requiere un tratamiento quasi-individualizado de las mismas aunque generalizable a grandes rasgos. Sin embargo, se ha de hacer constar que cualquier ingerencia de información ajena a la serie, como sustitución o desestimación de registros es extremadamente peligroso. Este trabajo trata de establecer una metodología estándar para dichas series atendiendo a sus características propias.

METODOLOGÍA.

Análisis Previo.

Este apartado permite la caracterización y preparación de las series para análisis posteriores. Trata de establecer los rasgos estadísticos generales y la evaluación de la continuidad y homogeneidad de las mismas.

Descripción estadística.

Se realiza una primera descripción de las series según los parámetros estadísticos: media, valor máximo y mínimo, recorrido, desviación estándar, coeficientes de sesgo y de curtosis.

Continuidad.

Es un hecho que las series tratadas presentan puntos de discontinuidad debidos fundamentalmente a la carencia de datos en uno o varios consecutivos. Los métodos para poder sustituir la información proporcionan en todos los casos una arbitrariedad. Los métodos más empleados son:

- 1) Sustitución por el valor correspondiente al año de la misma serie que presente una mejor correlación.
- 2) Sustitución por el valor medio mensual de años anteriores y/o posteriores.
- 3) Sustitución por el valor correspondiente al mes anterior, sumando el valor medio de las diferencias mensuales medias de años anteriores y/o posteriores.
- 4) Sustitución por el valor correspondiente de una serie vecina que presente con ella un alto índice de correlación (KARL et al. 1987).

El último es el que a priori ha de tener un menor impacto sobre la serie aunque es prácticamente inaplicable en series medias o largas (RODRÍGUEZ, 1992).

Homogeneidad.

La homogeneidad de las series es un aspecto relevante en el estudio previo de las mismas. Los registros de las series, sobre todo medias y largas, se han producido en diferentes condiciones, no solamente meteorológicas o climáticas, hecho que pretendemos establecer, sino también asociados a cambios en los aparatos de medida, personal encargado y localización. Este estudio se realiza utilizando la serie media o total anual y mediante el método del análisis de varianza.

El estudio de la homogeneidad se trivializa en aquellas series donde se conoce las distintas eventualidades que han determinado los registros. En aquellas que no se disponga de dicha información, el proceso es más complejo y pasa por el estudio de la evolución temporal de estadísticos tales como el gradiente mensual, la varianza y la subdivisión de la serie en diferentes subseries, para su posterior tipificación.

Tipificación.

Con el fin de obtener series comparables e independientes de la distribución anual se procede a la tipificación de estas de acuerdo a dos criterios:

- a) Tipificación bajo valores anuales. Esta tipificación permite comparar las series y conserva las características correspondientes a la distribución anual.
- b) Tipificación bajo valores mensuales. Permite analizar la evolución temporal de la variable excluyendo las características inherentes a su posición en la distribución anual.

La evaluación de las mismas se realiza a partir de las características estadísticas de la serie obteniéndose la magnitud estimada, según la expresión:

$$x_s(t) = z_s(t) \cdot \sigma(x) + E(x)$$

donde el subíndice s indica la subserie según ha sido tipificada.

Análisis temporal.

En este apartado se va a estudiar la evolución temporal de las series, las anomalías, las tendencias y la evolución de éstas.

Media móvil.

Un primer método de evaluación de la tendencia es el de la media móvil. Consiste en el cálculo de la media aritmética sobre ventanas móviles de longitud

constante, con una cadencia temporal determinada. Estos valores están en función de la longitud de la serie analizada. Así para las series largas y medias se toman ventanas de 50 y 25 años de longitud mientras que para la series cortas se trabaja con dos longitudes, una de 25 y 10 años (fig.1)

Regresión.

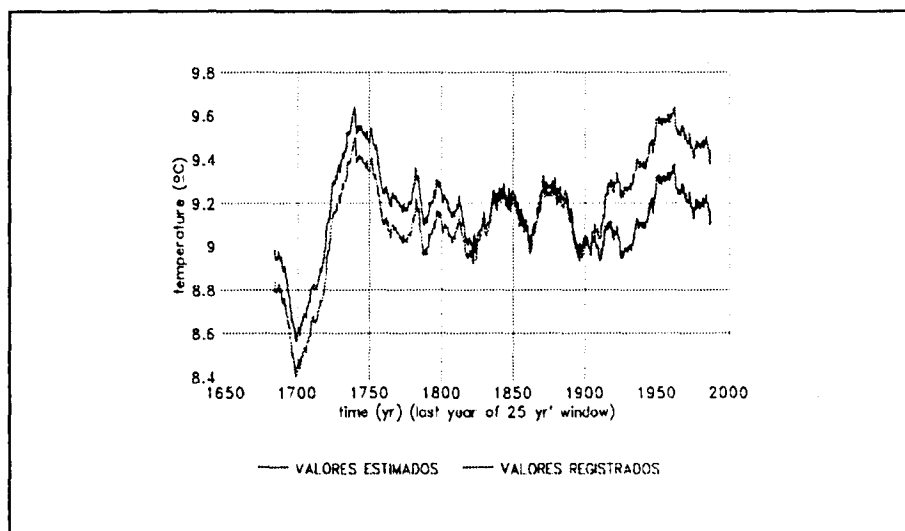


Fig.1. Media móvil sobre una serie larga, Central England (1659-1986), con una ventana de 25 años.

Para evaluar de un modo cualitativo la tendencia de una serie meteorológica se utiliza la técnica de la regresión lineal y/o polinómica con el tiempo. Esta técnica se utiliza especialmente en estudios de cambio climático. De este modo podemos conocer el valor de $\Delta T/\Delta t$ tanto a nivel anual como estacional o mensual. En el caso de regresiones lineales, es obvio que el coeficiente de correlación de Pearson será, en este tipo de series, bajo, por lo que no hay que olvidar el carácter puramente cualitativo de la misma. Si la dispersión de los registros es muy alta se utiliza la regresión polinómica. Es fundamental fijar el año inicial de la misma, ya que determina la evaluación de la tendencia.

Evolución temporal de la tendencia.

Es también importante conocer cuál ha sido la evolución de la tendencia con

el tiempo con el fin de establecer posibles cambios en la misma y establecer análisis comparativos con posibles estudios previos. Para evaluarla construimos la función temporal acumulada de covarianza normal dada por:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t}(t) = \frac{\sigma_{xy}(t)}{\sigma_x^2(t)}$$

donde los parámetros están calculados desde el año inicial, constante, hasta el año t. De este modo se dispone de una evolución temporal de la tendencia a partir del año inicial de la serie (RODRÍGUEZ Y LLASAT, 1994).

Análisis de anomalías.

A partir de la serie tipificada mensualmente, se realiza un análisis escalar mediante isolíneas, ya sean isotérmicas, isoyetas, etc..., sobre ejes mensual-anual que proporciona información de las anomalías, positivas y negativas de la variable a lo largo de la serie. Este tipo de análisis permite además el estudio comparativo de las anomalías de las series estableciéndose analogías en aquellas que presenten un mismo comportamiento, ya regional, hemisférico o global (fig.2).

Análisis Espectral.

La bibliografía especializada en series de variables meteorológicas presenta,

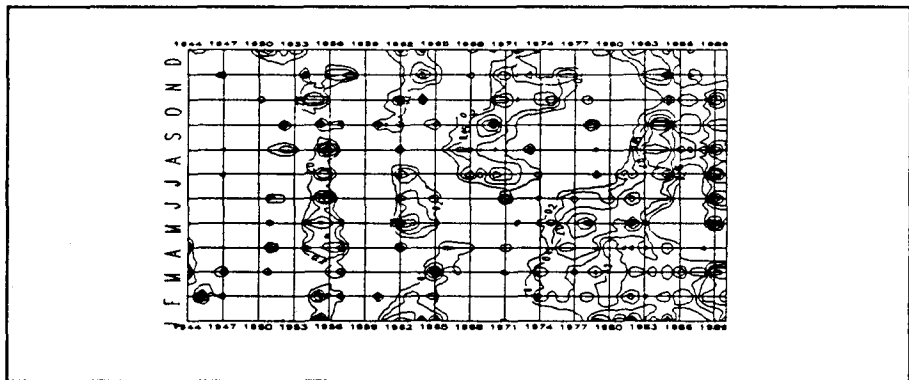


Fig.2. Anomalías térmicas positivas de la serie de temperaturas medias de la base antártica Bellingshausen (1944-1991) en las Shetlands del Sur.

con especial asiduidad, la posibilidad de que las mismas respondan a posibles periodicidades, además de las triviales como la periodicidad anual o semestral. Así, es conocida, la periodicidad quasi-biennial (SCHÖNWIESE, 1987), la posible periodicidad de los 11.1 o 22.2 años que responde al ciclo de las manchas solares (KATSOULIS Y KAMBETZIDIS, 1989) y la correspondiente al periodo lunar 18.6 años (CURRIE, 1987). Con el fin de determinar estos u otros posibles ciclos se utiliza el análisis espectral. Sin embargo las técnicas utilizadas en este tipo de estudio requieren un estudio previo y un análisis crítico exigente. De lo contrario es posible llegar a conclusiones apresuradas y erróneas.

Espectro de Potencia.

Los métodos utilizados para este análisis, en series de variables meteorológicas se basan en el cálculo del espectro de potencia de las mismas según:

a) Método BT (BLACKMAN Y TUKEY, 1959) con una autocorrelación al 75% y utilizando una ventana BH (Blackman-Harris) (HARRIS, 1978). El algoritmo de transformada es la DFT, dado que presenta la posibilidad de exploración zonal selectiva y un incremento frecuencial variable. Este método proporciona un bajo nivel de ruido asociado a la ventana y reduce la varianza espectral. Sin embargo aumenta la longitud del lóbulo central de la DFT, por lo que no es conveniente utilizarlo en series cortas (RODRÍGUEZ, loc.cit.).

b) MESA (Máxima Entropía) (BURG, 1975), con un filtro de predicción de error longitud (p.e.f.) entre $N/3$ y $N/2$. Está especialmente indicado para series cortas ya que permite explorar las zonas de muy baja frecuencia, con un incremento frecuencial variable. Presenta el inconveniente de la dependencia del p.e.f. y del desplazamiento frecuencial en la zona de bajas frecuencias (RODRÍGUEZ, loc. cit.).

Una vez analizado los posibles *picos* se han de confirmar como tales. Para ello se utiliza el test de significación periódica (RODRÍGUEZ, loc.cit.), que estudia la propagación temporal del mismo y su declive al inyectar una subserie aleatoria en la serie.

CONCLUSIONES.

La metodología a emplear en el estudio de series de variables meteorológicas es fundamental a la hora de establecer resultados. Es por tanto de suma importancia escoger los métodos estadísticos adecuados a las características de las series objeto de estudio.

Tanto la tipificación de las series como el análisis de las tendencias requiere

una permanente referencia a las condiciones de homogeneidad y al punto de partida de las mismas.

La metodología a emplear en el análisis espectral ha de ser la óptima en cada caso, y los máximos frecuenciales se han de comprobar, ya sea por su propagación temporal como por su significación periódica real, ya que de lo contrario pueden llevar a conclusiones erróneas, fruto, tanto de artulugios del cálculo, como de ideas preconcebidas.

REFERENCIAS.

- BLACKMAN, R. B. AND TUKEY, J. W. (1959). *The measurement of power spectra from the point of view of communication engineering*. Dover Publications, New-York.
- BURG, J. P. (1975). *Maximum entropy spectral analysis*. Ph. D. Dissertation. Stanford Univ. Stanford. California.
- CURRIE, R. G. (1987). *Examples and implications of 18.6 and 11-yr terms in world weather records*. *Climate*. Van Nostrand Reinhold eds., 378-403.
- FOUGERE, P. F. (1977). "A solution to the problem of the spontaneous line-splitting in maximum entropy power spectrum analysis". *Bonner Meteor.* vol. 26.
- HARRIS, F. J. (1978). "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform". *Proc. IEEE*, vol. 66, 51-83.
- KATSOULIS, B. D. AND KAMBETZIDIS, H. D. (1989). "Analysis of the long term precipitation series at Athens, Greece". *Climatic Change* vol. 14, 263-285.
- RODRÍGUEZ, R. (1992). *Análisis armónico de series meteorológicas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona. 130 pp.
- RODRÍGUEZ, R., LLASAT, M. C. Y ROJAS, E. (1994). *Evaluation of climatic change through harmonic analysis*. Natural Hazards. (en prensa).
- SCHÖNWIESE, C.D. (1987). "Moving spectral variance and coherence analysis and some applications on long air temperature series". *J. Clim. App. Meteor.* vol. 26, 1723-1730.
- SHORE, J. E. (1981). "Minimum cross-entropy spectral analysis". *IEEE Trans. on ASSP*. vol. 29, 230-237.