

04-003

REGIONAL FREQUENCY ANALYSIS OF DIURNAL TEMPERATURE RANGE IN ANDALUSIA

Herrera Grimaldi, Pascual; García Marín, Amanda P.; Estévez Gualda, Javier; Ayuso Muñoz, José Luis

Universidad de Córdoba

The regional frequency analysis (RFA) is a useful tool that allows, using statistics analysis, to solve the problem of data scarcity in time by increasing data in space. In the last decades, the Daily Temperature Range (DTR), widely used for the estimation of relevant hydrometeorological variables such as Solar Radiation or Reference Evapotranspiration, has experienced an increasing importance on the scientific field to analyse and study phenomena as climate change. In the present work, the RFA of DTR timeseries from 193 meteorological stations in Andalusia has been carried out in order to analyse the similarity of the series and to establish homogeneous regions. As a previous step, different quality control methods have been applied to DTR data, as prerequisite of its use, and to ensure its verisimilitude. In the ARF, the discordant stations have been rejected, and the potential homogeneity of the rest of stations has been analysed, being Andalusia a heterogeneous region. Later, using the multifractal parameters of the stations, they were grouped into sub-regions, repeating the procedure up sometimes, in none of them finding homogeneous sub-regions.

Keywords: *Daily temperature range; data quality; validation; regional frequency analysis; homogeneous regions; multifractal properties*

ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIAS DEL RANGO TÉRMICO DIARIO EN ANDALUCÍA

El análisis regional de frecuencias (ARF) se presenta como una herramienta útil que permite, mediante análisis estadístico, contrarrestar la escasez de datos en el tiempo con su abundancia en el espacio. En las últimas décadas el rango térmico diario (DTR del inglés Daily Temperature Range), ampliamente utilizado para la estimación de variables hidro-meteorológicas relevantes como la Radiación Solar o la Evapotranspiración de Referencia, ha tomado mayor importancia en el ámbito científico para el análisis y estudio de fenómenos como el cambio climático. En el presente trabajo se ha llevado a cabo el ARF de series temporales del DTR de 192 estaciones meteorológicas en Andalucía, con el objetivo de analizar la similitud de las series y establecer zonas homogéneas. Como etapa previa al ARF, se han aplicado diferentes métodos de control de calidad a las series temporales, como prerequisite a su utilización y para garantizar su verosimilitud. Dentro del ARF, se descartaron las estaciones discordantes y se analizó la potencial homogeneidad de las restantes, siendo Andalucía un región heterogénea. Posteriormente, haciendo uso de los parámetros multifractales de las estaciones, se agruparon éstas en subregiones, volviendo a repetir el procedimiento en varias ocasiones, en ninguna de ellas hallando subregiones homogéneas.

Palabras clave: *Rango térmico diario; calidad de datos; validación; análisis regional de frecuencia; regiones homogéneas; propiedades multifractales*

Correspondencia: Pascual Herrera Grimaldi o02hegrp@uco.es

Acknowledgements/Agradecimientos: Los autores agradecen al proyecto del Plan Nacional: AGL2017-87658-R.



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La variable rango térmico diario (DTR del inglés Diary/Diurnal Temperature Range), definida como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima del día es utilizada en diversas áreas de gran interés científico, social y económico. En medicina, recientes estudios asocian los altos valores de DTR a estados adversos de salud (Yackerson et al. 2008). En el área de la energía, se ha analizado el efecto del DTR en el rendimiento de las chimeneas solares de las plantas energéticas (Zhou et al. 2017).

En las últimas décadas además, el DTR ha sido utilizado en multitud de estudios del cambio climático, y análisis de tendencia, siendo las series analizadas a escala regional (Wu, 2010; Qu et al. 2014; Shen et al. 2014; Damborska et al. 2016; Herrera-Grimaldi et al. 2018), a escala global (Wild, Ohmura & Makosky, 2007), relacionada con otras variables (Makowski et al. 2009; Shen et al. 2014) y con forzamiento antropogénico (Balling & Idso, 1991; Collatz et al. 2000; Zhou et al. 2010). Está ampliamente aceptado que el DTR ha descendido en los últimos 50 años en la mayor parte del mundo (Stone & Weaver, 2002; Alexander et al. 2006), aunque su variación es distinta en espacio y tiempo (Qu et al. 2014).

Además, es una importante variable que se emplea como input en distintos modelos y ecuaciones para la obtención de la evapotranspiración de referencia y la radiación solar (Hargreaves & Samani, 1982; Samani, 2000; Goodin et al. 1999; Trajkovic, 2007; Estévez et al. 2012; Tabari et al. 2013), tan escasamente medidas en España y el mundo (Sancho-Ávila et al. 2012; Thornton & Running, 1999).

Por otro lado, uno de los principales problemas de las bases de datos climáticos es la baja disponibilidad temporal que presentan las series de datos. En este sentido Hosking y Wallis, (1997) propusieron el método del Análisis Regional de Frecuencias (ARF), que permite aumentar los datos disponibles de la variable analizada considerando los datos de otros lugares con la misma función de distribución de probabilidad.

Este método ha sido ampliamente usado en el análisis de avenidas (Zhang & Hall, 2004; Bhuyan et al. 2010; Durocher et al. 2018), de precipitación (Norbiato et al. 2007; Wallis et al. 2007; García-Marín et al. 2011; García-Marín et al. 2015a, b; Medina-Cobo et al. 2017; Darwish et al. 2018), de velocidad del viento (Modarres, 2008; Hong & Ye, 2014) de sequías (Modarres, 2010; Santos et al. 2011; Zhang et al. 2015) entre otros procesos.

Durante el ARF, la delimitación de las regiones homogéneas es considerado el paso más complejo (Hosking et al. 1985; Lettenmaier et al. 1987). Existen diferentes métodos que permiten definir tales regiones como el análisis de componentes principales (García-Marín et al. 2011), análisis clúster (Yang et al. 2010), características del lugar (Burn & Goel, 2000; Chebana & Ouara, 2008), entre otros.

Recientemente, esta metodología ha sido usada para la regionalización de la variable precipitación, utilizando distintos parámetros multifractales para su agrupamiento (García-Marín et al. 2015a, b; Medina-Cobo et al. 2017), obteniéndose buenos resultados.

2. Objetivos

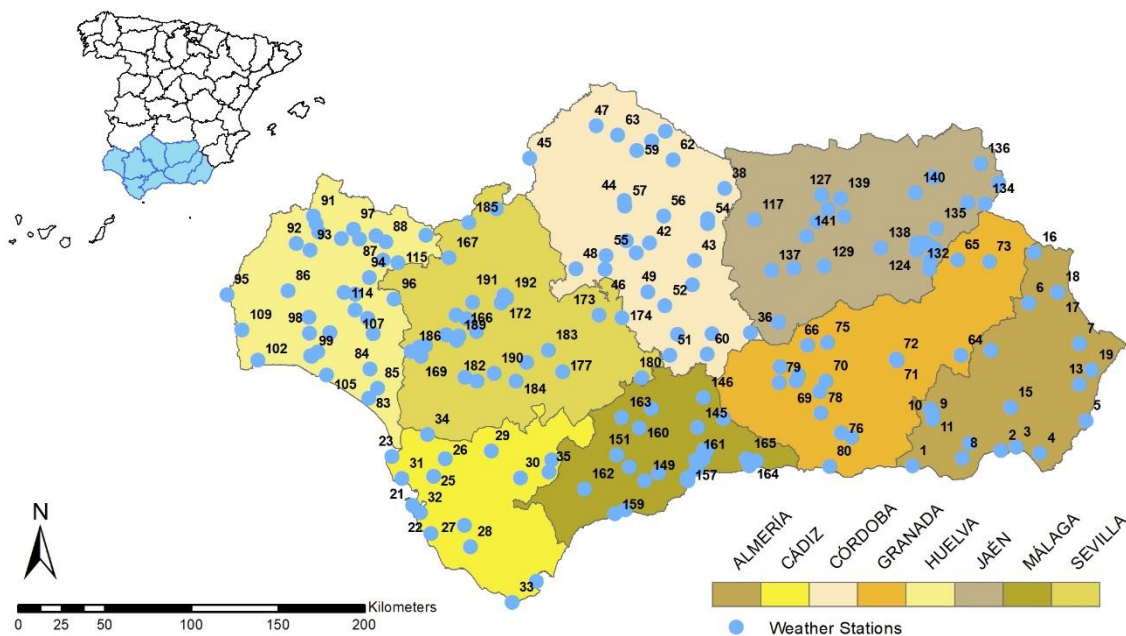
El objetivo del presente trabajo es realizar el ARF de las series históricas de la variable DTR en la comunidad autónoma de Andalucía usando la caracterización multifractal de las series obtenida en Herrera-Grimaldi, García-Marín y Estévez (2019), para intentar delimitar subregiones homogéneas, con el fin de conocer detalladamente el comportamiento de esta variable de cara a mejorar los diversos modelos que la utilizan como input y que sirven para estimar parámetros relevantes en diferentes áreas.

3. Metodología

3.1 Fuente de datos

Los datos utilizados en el presente trabajo son datos de temperatura máxima y mínima diaria de las estaciones meteorológicas dependientes de la Agencia Estatal de Meteorología de España. De las 258 estaciones meteorológicas disponibles, 192 fueron finalmente utilizadas en los análisis. Se descartaron un total de 66 series de datos por no presentar series de longitud inferior a 15 años y con menos de 330 días por año. Las series de datos van desde 1903 hasta el año 2006. El rango de elevación de las comprende desde los 2 m a los 1800 m sobre el nivel del mar, la longitud abarca desde los 7° 31' 6,9934" al 1° 51' 47,015" Oeste y la latitud desde los 36° 52' 15,0043" y los 38° 30' 1,9964" Norte (Figura 1).

Figura 1: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en Andalucía (España)



3.2. Control de calidad de datos

El control de la calidad de los datos es un paso esencial en todos los análisis, mediante el cual se asegura la veracidad de los mismos, mejorando por tanto los resultados y conclusiones que de éstos se obtengan.

Para el presente trabajo se ha hecho uso de los datos validados en Herrera-Grimaldi, García-Marín y Estévez, (2019), estando compuesto el proceso por las siguientes pruebas: test de rango/límite (fijo y dinámico), test de salto térmico, test de consistencia interna y test de persistencia (Tabla 1). Los datos detectados en el test de rango fijo serán marcados como erróneos. Los detectados por los otros test serán marcados como “sospechosos” y deberán ser analizados mediante inspección manual (Estévez, Gavilán & Giráldez, 2011; Estévez et al. 2018).

Tabla 1: Resumen de los test aplicados en el procedimiento de control de calidad de datos

Test de Rango Fijo	$-30 < T (^{\circ}C) < 50$	Shafer et al. (2000)
	$-39,2 < T (^{\circ}C) < 60$	Estévez, Gavilán & Giráldez, (2011)
Test de salto térmico	$T_{max} - T_{min} < 30$	Robinson (1998)
Test de consistencia interna	$T_{max} > T_{min}$	Feng, Hu & Qian, (2004)
	$T_{max}(d) > T_{min}(d - 1)$	
	$T_{min}(d) \leq T_{max}(d - 1)$	
Test de persistencia	$T_{max}(d) \neq T_{max}(d - 1) \dots T_{max}(d - 6)$	Meek & Hatfield (1994)
	$T_{min}(d) \neq T_{min}(d - 1) \dots T_{min}(d - 6)$	

Finalmente, y siguiendo la metodología de Estévez et al. (2018) se ha realizado una comparación con estaciones vecinas para validar en última instancia la verosimilitud de los registros marcados por los test descritos en la Tabla 1.

3.3. Análisis Multifractal

Para el presente trabajo se han utilizado los resultados del análisis multifractal obtenido por Herrera-Grimaldi, García-Marín y Estévez, (2019). En dicho trabajo el comportamiento multifractal de las series de datos fue analizado mediante la aplicación de dos formalismos:

Formalismo multifractal de turbulencia: analiza el comportamiento multifractal de un proceso en base a la función exponente escaladora de momentos $K(q)$ (Shertzer & Lovejoy, 1987), siendo γ_{max} el mayor orden de singularidad presente en la muestra de datos (Schertzer & Lovejoy, 1987; Tessier, Lovejoy & Schertzer, 1993; De Lima & De Lima, 2009). La forma de la función $K(q)$ advierte de carácter mono o multifractal de las series de datos, estando el valor de γ_{max} relacionado con la presencia de eventos raros o extremos en las series de datos García-Marín et al. (2013).

Formalismo *strange attractor*: Las dimensiones fractales que más se utilizan para describir un proceso son D_0 , D_1 y D_2 . El valor de D_1 describe el grado de heterogeneidad en la distribución de la medida y caracteriza la distribución e intensidad de singularidades (Davis et al., 1994). D_2 es la correlación de la dimensión fractal, que está asociada a la función de correlación, y determina la distribución media de la medida (Grassberger, 1983). Por otro lado, el grado de multifractalidad (MD) de las series se obtiene a partir del espectro multifractal (Telesca & Lovallo, 2011). A mayor anchura del espectro, mayor será el grado de multifractalidad.

3.4. Análisis Regional de Frecuencias

El *ARF* consta de las siguientes etapas (Hosking & Wallis, 1997): filtrado primario de los datos, identificación de las regiones homogéneas, selección de la función de distribución regional que mejor se ajuste y la estimación de los cuantiles de frecuencia.

Filtrado de datos. El filtrado de los datos está basado en la medida de la discordancia.

Hosking y Wallis (1997) propusieron una ecuación dependiente del número de estaciones con la que obtener un valor crítico a partir del cual se considera discordante la estación.

$$D_1 = \frac{1}{3} N(u_1 - \bar{u})^T A^{-1} (u_1 - \bar{u}) \quad (1)$$

donde $u_i = [t^{(i)}_1 \ t^{(i)}_2 \ t^{(i)}_3]^T$, T es la matriz de transposición, $\bar{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^N u_i$, $A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T$ y N es el número de estaciones.

Identificación de las regiones homogéneas. La identificación de las regiones homogéneas es la etapa más complicada en el ARF. El objetivo es la agrupación de lugares con idéntica distribución de frecuencias. Hosking y Wallis (1997) propusieron el test estadístico de heterogeneidad (H), la cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{(V - \mu_V)}{\sigma_V} \quad (2)$$

donde N es el número de lugares, n_i la longitud de serie en el lugar i , y $t^{(i)}$ las ratios de los L-

momentos de la muestra. $V = \left\{ \sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^N n_i \right\}^{1/2}$ y $t^R = \sum_{i=1}^N n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^N n_i$

De acuerdo con los autores, las regiones pueden considerarse “aceptablemente homogénea” si $H < 1$, “posiblemente heterogénea” si $1 \leq H < 2$, y “definitivamente heterogénea” si $H \geq 2$.

Selección de la función de distribución regional. Tras delimitar las regiones homogéneas, se selecciona la función de distribución que mejor se ajuste a los datos de los distintos sitios. Para discernir entre las posibles distribuciones, se analiza la bondad del ajuste, donde se verifica si la distribución cumple con el criterio marcado por los autores de $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ para considerar aceptable el ajuste. Donde:

$$Z^{DIST} = (\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4) / \sigma_4 \quad (3)$$

siendo τ_4^{DIST} el L-curtosis de la distribución ajustada, t_4^R el coeficiente L-curtosis de la región, σ_4 la desviación estándar de t_4^R , y B_4 es el error de t_4^R .

Estimación de los cuantiles. Considerando el método del índice de avenida para una región homogénea, la función cuantil $Q_i(F)$ puede ser escrita:

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

donde μ_i es el índice de flujo, y $q(F)$ es la curva de crecimiento regional calculada con los algoritmos de los L-momentos regionales (Hosking & Wallis, 1997).

4. Resultados

4.1. Control de calidad de datos

El control de calidad de los datos permitió detectar valores anómalos en todas las provincias de la comunidad autónoma de Andalucía. La provincia de Córdoba registró el máximo valor de datos anómalos con más del 28,3% de los valores totales detectados, siendo Cádiz la que menor valor arrojó, con un 5,3% del total.

No todos los test marcaron valores sospechosos. Las pruebas de rango no marcaron ningún valor, siendo 1,05%, 3,35% y 95,6% los datos marcados por los test de salto térmico,

consistencia interna y persistencia respectivamente. Dentro de las ecuaciones del test de consistencia interna, la tercera ecuación (Tabla 1) fue la que menor número de valores anómalos aportó al test. Es necesario resaltar la importancia en número de datos marcados como sospechosos del test de persistencia para las series de datos analizadas, suponiendo más del 95% de los datos detectados por todos los test. En la última fase de inspección visual y comparación con estaciones vecinas, solamente el 0.25% de los datos marcados inicialmente como sospechosos fueron utilizados para el análisis siguiente.

4.2. Análisis multifractal

De acuerdo con los resultados obtenidos en Herrera-Grimaldi, García-Marín y Estévez (2019), se presenta a continuación una tabla (Tabla 2) con algunos ejemplos de los parámetros obtenidos con el fin de clarificar las conclusiones que se puedan obtener.

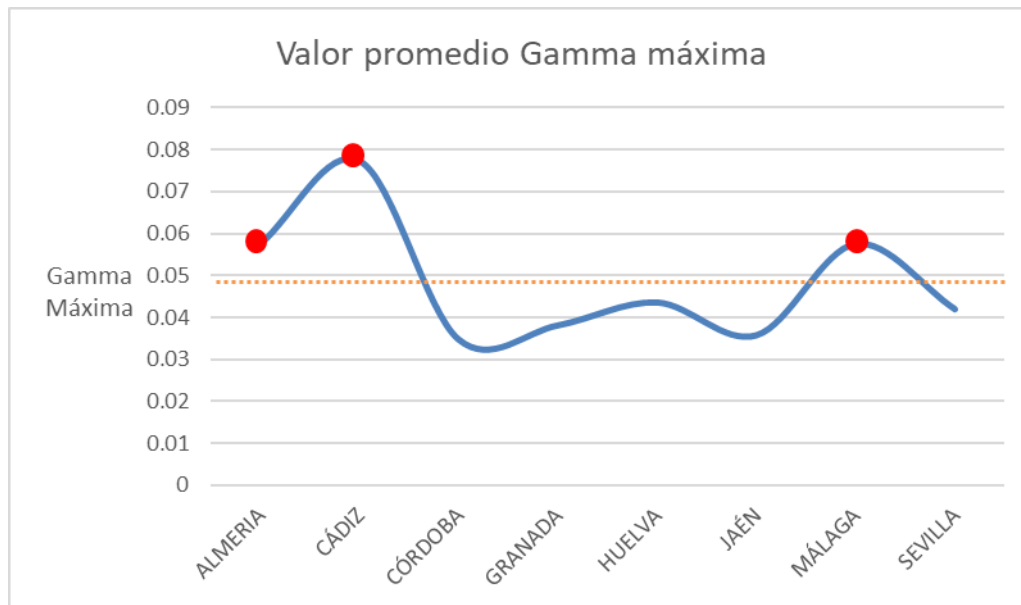
Tabla 2: Tabla ejemplo resumen de valores multifractales. (Herrera-Grimaldi, García-Marín, & Estévez, 2019)

Nombre Estación	γ_{max}	D_1	D_2	MD
Faro de Adra (AL)	0.197041	0.997351	0.994814	0.029493
Cádiz Obs. (CA)	0.155327	0.997176	0.994394	0.028213
Villanueva Córdoba (CO)	0.021402	0.991955	0.984879	0.089161
Felix (AL)	0.040670	0.982191	0.968836	0.159106
Chirivel (AL)	0.009873	0.986736	0.974415	0.146616
Almedinilla (CO)	0.029997	0.992171	0.985141	0.083172
Aznalcazar (SE)	0.032361	0.985215	0.975910	0.210210
Vera (AL)	0.037444	0.998921	0.997852	0.010977

Nota: AL: Almería, CA: Cádiz, CO: Córdoba, SE: Sevilla

Formalismo multifractal de turbulencia. La forma de la función $K(q)$ obtenida revela el carácter multifractal de la variable analizada. Los valores de γ_{max} oscilan entre 0,0098 para la estación “Chirivel” en Almería, hasta un valor máximo de 0,1970 en la estación “Faro de Adra” también en Almería (Tabla 2). Los valores más altos de γ_{max} se relacionan con posibles eventos extremos o raros (García-Marín et al. 2013). En la variable analizada se ha apreciado que las zonas de costas son las que presentan en general valores superiores para la variable (Tabla 2 y Figura 2), lo que se podría asociar al efecto amortiguador sobre las temperaturas del Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico.

Figura 2: Variación de la variable gamma máxima promediada por provincia



Nota. La línea naranja de punto representa el valor medio total.

Como se puede apreciar en la figura anterior (Figura 2), son las provincias costeras las que muestran valores de gamma máxima superiores a la media.

Formalismo strange attractor. El valor más bajo de D_1 se ha obtenido en la estación “Felix” (0,982191) en Almería (Tabla 2). De nuevo, las zonas de interior, con baja influencia oceánica y marítima, presentaron valores superiores, en consonancia con los valores de gamma máxima (Figura 2).

A partir del espectro multifractal, el mayor grado de multifractalidad se detectó en “Aznalcazar” con un valor de 0,21021 y el menor en “Vera” con 0,010977 (Tabla 2).

4.3. Análisis Regional de Frecuencias

La región inicial (Andalucía) está compuesta por 192 estaciones meteorológicas. Los valores de los L -Momentos y sus ratios fueron calculados, caracterizando cada serie de datos validada de DTR . De acuerdo con Hosking y Wallis (1997), se aplicó el test de discordancia y de heterogeneidad, y se analizó la posibilidad de que todas las estaciones formaran una única región homogénea.

Para valorar la discordancia, el valor crítico el propuesto por los autores para regiones con más de 15 lugares es igual a 3. En la primera aplicación, 12 estaciones superaron ese valor. Tras eliminar del análisis estas doce estaciones se volvió a aplicar el test de discordancia, obteniéndose un valor superior a 3 en 10 estaciones más. El procedimiento se repitió 11 veces más, descartándose 26 estaciones discordantes, es decir, un total de 48 estaciones fueron descartadas.

Tras descartar las 48 estaciones discordantes, se aplicó el estadístico de heterogeneidad (H), obteniéndose como resultado 200.43, 188.03 y 170.26 correspondientes a H_1 , H_2 y H_3 respectivamente. Los tres valores de H fueron superiores a 2, por tanto, Andalucía no puede ser considerada homogénea para la variable DTR . Según Hosking y Wallis (1997), la región debe de ser considerada como “definitivamente heterogénea”.

Dado que Andalucía no se comporta como una región homogénea para la variable DTR , se llevó a cabo un análisis clúster con distintos parámetros provenientes de ambos análisis

multifractales. Del formalismo multifractal de turbulencia se utilizó el valor del γ_{max} (valor del mayor orden de singularidad presente en la muestra) y del formalismo *strange attractor*, los valores del D_1 , D_2 y del grado de multifractalidad (MD).

La región se dividió inicialmente en dos subregiones, compuestas por 54 y 138 estaciones cada una. A cada grupo se le aplicó entonces el estadístico de heterogeneidad, y tras continuar con el procedimiento propuesto por Hosking y Wallis (1997) de eliminación de discordantes y reanálisis, las dos subregiones eran “definitivamente heterogéneas” de nuevo.

El análisis se volvió a realizar dividiendo Andalucía en tres subregiones, pero el resultado fue exactamente el mismo, las subregiones eran heterogéneas. Así fue repetido el procedimiento hasta más de 10 veces, obteniendo el mismo resultado.

En la actualidad, dado que no se han hallado subregiones con la utilización de manera conjunta de las distintas variables multifractales, se ha procedido a continuar el análisis mediante las variables multifractales pero de manera independiente. Por un lado con las provenientes del formalismo multifractal de turbulencia (la variable gamma máxima), se han realizado 4 iteraciones de acuerdo al procedimiento explicado con anterioridad. Por otro lado, con las variables D_1 , D_2 y MD del formalismo *strange attractor*, se han realizado seis iteraciones y en ningún caso el resultado ha sido satisfactorio, presentado en todas las ocasiones H_1 un valor superior a 1, y por tanto, no estableciéndose subregiones homogéneas.

5. Conclusiones

La validación de las series termométricas empleadas ha resultado efectiva, garantizando que los análisis posteriores sean verosímiles ya que utilizan inputs que han pasado diversos procedimientos de control de calidad.

Tanto el formalismo multifractal de turbulencia como el formalismo *strange attractor*, han puesto en evidencia la naturaleza multifractal de la variable DTR . El valor de γ_{max} ha mostrado diferencias de comportamiento de las series entre las zonas con clara influencia oceánica y marítima, con aquellas que no tienen tal influencia o con influencia de menor intensidad, de acuerdo además con los valores de D_1 .

El análisis regional de frecuencias llevado a cabo hasta el momento declara a la comunidad autónoma de Andalucía como una región definitivamente heterogénea para la variable DTR . Será necesario profundizar en el procedimiento y/o la utilización nuevos métodos de agrupamiento de la variable.

6. Referencias

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Tank, A., et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D5).
- Balling, R. C., & Idso, S. B. (1991). Decreasing diurnal temperature range: CO2 greenhouse or SO2 energy balance effect? [Article]. *Atmospheric Research*, 26(5), 455-459.
- Bhuyan, A., Borah, M., & Kumar, R. (2010). Regional Flood Frequency Analysis of North-Bank of the River Brahmaputra by Using LH-Moments. *Water Resources Management*, 24(9), 1779-1790.
- Burn, D. H., & Goel, N. K. (2000). The formation of groups for regional flood frequency analysis. [Article]. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 45(1), 97-112.

- Chebana, F., & Ouarda, T. (2008). Depth and homogeneity in regional flood frequency analysis. *Water Resources Research*, 44(11).
- Collatz, G. J., Bounoua, L., Los, S. O., Randall, D. A., Fung, I. Y., & Sellers, P. J. (2000). A mechanism for the influence of vegetation on the response of the diurnal temperature range to changing climate. *Geophysical Research Letters*, 27(20), 3381-3384.
- Damborska, I., Gera, M., Melo, M., Lapin, M., & Nejedlik, P. (2016). Changes in the daily range of the air temperature in the mountainous part of Slovakia within the possible context of global warming. *Meteorologische Zeitschrift*, 25(1), 17-35.
- Darwish, M. M., Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tye, M. R. (2018). A regional frequency analysis of UK sub-daily extreme precipitation and assessment of their seasonality. *International Journal of Climatology*, 38(13), 4758-4776.
- Davis, A., Marshak, A., Wiscombe, W., & Cahalan, R. (1994). Multifractal characterizations of nonstationarity and intermittency in geophysical fields - observed, retrieved, or simulated. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 99(D4), 8055-8072.
- De Lima, M. I. P., & de Lima, J. (2009). Investigating the multifractality of point precipitation in the Madeira archipelago. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 16(2), 299-311.
- Durocher, M., Burn, D. H., & Zadeh, S. M. (2018). A nationwide regional flood frequency analysis at ungauged sites using ROI/GLS with copulas and super regions. *Journal of Hydrology*, 567, 191-202.
- Estévez, J., Gavilan, P., & Giraldez, J. V. (2011). Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *Journal of Hydrology*, 402(1-2), 144-154.
- Estévez, J., Padilla, F. L. M., & Gavilan, P. (2012). Evaluation and Regional Calibration of Solar Radiation Prediction Models in Southern Spain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(10), 868-879.
- Estévez, J., Gavilán, P., & García-Marín, A.P. (2018). Spatial regression test for ensuring temperature data quality in southern Spain. *Theoretical and applied climatology* 131 (1-2), 309-318.
- Feng, S., Hu, Q., & Qian, W. H. (2004). Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24(7), 853-870.
- García-Marín, A. P., Ayuso-Muñoz, J. L., Jiménez-Hornero, F. J., & Estévez, J. (2013). Selecting the best IDF model by using the multifractal approach. *Hydrological Processes*, 27(3), 433-443.
- García-Marín, A. P., Ayuso-Muñoz, J. L., Taguas-Ruiz, E. V., & Estévez, J. (2011). Regional analysis of the annual maximum daily rainfall in the province of Malaga (southern Spain) using the principal component analysis. *Water and Environment Journal*, 25(4), 522-531.
- García-Marín, A. P., Estévez, J., Medina-Cobo, M. T., & Ayuso-Muñoz, J. L. (2015). Delimiting homogeneous regions using the multifractal properties of validated rainfall data series. *Journal of Hydrology*, 529, 106-119.
- García-Marín, A. P., Estévez, J., Sanguesa-Pool, C., Pizarro-Tapia, R., Ayuso-Muñoz, J. L., & Jiménez-Hornero, F. J. (2015). The use of the exponent $K(q)$ function to delimit homogeneous regions in regional frequency analysis of extreme annual daily rainfall. *Hydrological Processes*, 29(1), 139-151.
- Goodin, D. G., Hutchinson, J. M. S., Vanderlip, R. L., & Knapp, M. C. (1999). Estimating solar irradiance for crop modeling using daily air temperature data. *Agronomy Journal*, 91(5), 845-851.
- Grassberger, P. (1983). Generalized dimensions of strange attractors. *Physics Letters A*, 97(6), 227-230.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapo-transpiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-Asce*, 108(3), 225-230.
- Herrera-Grimaldi, P., Garcia-Marin, A., Ayuso-Munoz, J. L., Flamini, A., Morbidelli, R., & Ayuso-Ruiz, J. L. (2018). Detection of trends and break points in temperature: the

- case of Umbria (Italy) and Guadalquivir Valley (Spain). *Acta Geophysica*, 66(3), 329-343.
- Herrera-Grimaldi, P., García-Marín, AP., & Estévez, J. Multifractal analysis of diurnal temperature range over Southern Spain using validated datasets. *Chaos*. In press.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., & Wood, E. F. (1985). An appraisal of the regional flood frequency procedure in the uk flood studies report. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 30(1), 85-102.
- Hosking, J. R. M.; Wallis, J. R. Regional frequency analysis: an approach based on L-Moment. IBM T J Watson Research Center, New York. 1997
- Lettenmaier, D. P., Wallis, J. R., & Wood, E. F. (1987). Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation. *Water Resources Research*, 23(2), 313-323.
- Makowski, K., Jaeger, E. B., Chiacchio, M., Wild, M., Ewen, T., & Ohmura, A. (2009). On the relationship between diurnal temperature range and surface solar radiation in Europe. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 114.
- Medina-Cobo, M. T., Garcia-Marin, A. P., Estevez, J., Jimenez-Hornero, F. J., & Ayuso-Munoz, J. L. (2017). Obtaining Homogeneous Regions by Determining the Generalized Fractal Dimensions of Validated Daily Rainfall Data Sets. *Water Resources Management*, 31(7), 2333-2348.
- Meek, D. W., & Hatfield, J. L. (1994). Data quality checking for single station meteorological databases. *Agricultural and Forest Meteorology*, 69(1-2), 85-109.
- Modarres, R. (2008). Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(7), 1329-1342.
- Modarres, R. (2010). Regional Dry Spells Frequency Analysis by L-Moment and Multivariate Analysis. *Water Resources Management*, 24(10), 2365-2380.
- Norbiato, D., Borga, M., Sangati, M., & Zanon, F. (2007). Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. [Article]. *Journal of Hydrology*, 345(3-4), 149-166.
- Qu, M., Wan, J., & Hao, X. J. (2014). Analysis of diurnal air temperature range change in the continental United States. *Weather and Climate Extremes*, 4, 86-95.
- Robinson, P. J. (1998). Monthly variations of dew point temperature in the coterminous United States. *International Journal of Climatology*, 18(14), 1539-1556.
- Samani, Z. (2000). Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.
- Sancho Ávila, J.M., Riesco-Martín, J., Jiménez-Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M. C., Montero-Cadalso, J. and López-Bartolomé, M., Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. AEMET. Madrid, 2014.
- Santos, J. F., Portela, M. M., & Pulido-Calvo, I. (2011). Regional Frequency Analysis of Droughts in Portugal. *Water Resources Management*, 25(14), 3537-3558.
- Schertzer, D., & Lovejoy, S. (1987). Physical modeling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 92(D8), 9693-9714.
- Shafer, M. A., Fiebrich, C. A., Arndt, D. S., Fredrickson, S. E., & Hughes, T. W. (2000). Quality assurance procedures in the Oklahoma Mesonetwork. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(4), 474-494.
- Shen, X. J., Liu, B. H., Li, G. D., Wu, Z. F., Jin, Y. H., Yu, P. J., et al. (2014). Spatiotemporal change of diurnal temperature range and its relationship with sunshine duration and precipitation in China. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 119(23), 13163-13179.
- Stone, D. A., & Weaver, A. J. (2002). Daily maximum and minimum temperature trends in a climate model. *Geophysical Research Letters*, 29(9).
- Tabari, H., Grismer, M. E., & Trajkovic, S. (2013). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31(2), 107-117.

- Telesca, L., & Lovallo, M. (2011). Analysis of the time dynamics in wind records by means of multifractal detrended fluctuation analysis and the Fisher-Shannon information plane. *Journal of Statistical Mechanics-Theory and Experiment*.
- Tessier, Y., Lovejoy, S., & Schertzer, D. (1993). Universal multifractals - theory and observations for rain and clouds. *Journal of Applied Meteorology*, 32(2), 223-250.
- Thornton, P. E., & Running, S. W. (1999). An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 93(4), 211-228.
- Trajkovic, S. (2007). Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(1), 38-42.
- Wallis, J. R., Schaefer, M. G., Barker, B. L., & Taylor, G. H. (2007). Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington State. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), 415-442.
- Wild, M., Ohmura, A., & Makowski, K. (2007). Impact of global dimming and brightening on global warming. *Geophysical Research Letters*, 34(4).
- Wu, Q. G. (2010). Associations of diurnal temperature range change with the leading climate variability modes during the Northern Hemisphere wintertime and their implication on the detection of regional climate trends. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 115.
- Yackerson, N., Piura, B., & Sheiner, E. (2008). The influence of meteorological factors on the emergence of preterm delivery and preterm premature rupture of membrane. *Journal of Perinatology*, 28(10), 707-711.
- Yang, T., Xu, C.-Y., Shao, Q.-X., & Chen, X. (2010). Regional flood frequency and spatial patterns analysis in the Pearl River Delta region using L-moments approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2), 165-182.
- Zhang, J. Y., & Hall, M. J. (2004). Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China. *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 98-117.
- Zhang, Q., Qi, T. Y., Singh, V. P., Chen, Y. D., & Xiao, M. Z. (2015). Regional Frequency Analysis of Droughts in China: A Multivariate Perspective. *Water Resources Management*, 29(6), 1767-1787.
- Zhou, L. M., Dickinson, R. E., Dai, A. G., & Dirmeyer, P. (2010). Detection and attribution of anthropogenic forcing to diurnal temperature range changes from 1950 to 1999: comparing multi-model simulations with observations. *Climate Dynamics*, 35(7-8), 1289-1307.
- Zhou, X. P., Xu, Y. Y., & Zhang, F. (2017). Evaluation of effect of diurnal ambient temperature range on solar chimney power plant performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 398-405.