

REGIONALIZACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS EN LA REGIÓN DE MURCIA

J.A. García-Valero¹, J.P. Montávez², S. Jerez³, J.J. Gómez-Navarro²

(1) Agencia Estatal de Meteorología, Avda. de la Libertad 11, 30071 Guadalupe, Murcia,
agvalero@inm.es

(2) Dpto. Física, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, Ed. CIOYN, 30071 Murcia,
montavez@um.es

(3) Instituto Euromediterráneo del Agua, Ctra. Nacional 301, Ed. 27, 30100 Murcia,
sonia.jerez@gmail.com

1. Introducción

Tanto la escasez de agua como el aumento de su demanda es una preocupación creciente de la sociedad actual y más aún teniendo en cuenta las alarmantes previsiones climáticas (bajo ciertos escenarios de CC) que arrojan un descenso significativo de la precipitación en la Península Ibérica (PI) para las próximas décadas. Se hace necesario obtener predicciones de mayor resolución espacial que permitan una mejor planificación de los recursos hídricos, pero también se requiere una verificación más ajustada de estos modelos. La regionalización de un determinado elemento climático nos permite obtener las regiones naturales de similar variabilidad en cuanto a ese elemento, regiones que suelen presentar una extensión espacial más adecuada para la verificación de los modelos climáticos.

Existen estudios previos que buscaron una regionalización de las precipitaciones para la Región de Murcia, así, en Martínez and Bañón (1987) se obtuvo una regionalización de toda la cuenca del Segura, sin embargo, el número de episodios que emplearon fue inferior al nuestro. En otros trabajos más recientes (Romero et al., 1999) se buscó una regionalización para toda la vertiente mediterránea de la PI, desde Andalucía hasta Cataluña y también las islas Baleares. No obstante, el número de regiones encontradas para Murcia presenta una resolución espacial grosera. En García-Valero (2007) se obtuvo una regionalización para el período de tiempo 1970-1999, empleándose como técnica de regionalización la rotación varimax de las Componentes Principales retenidas, la resolución espacial derivada de esta regionalización y las regiones obtenidas están más en sintonía

con nuestros resultados, aunque pensamos que el obtenido aquí es más robusto por el mayor período de tiempo considerado y por la mejor cobertura espacial de las estaciones empleadas.

La Región de Murcia, localizada en el SE español constituye una de las regiones más secas del continente europeo, debido en parte al apantallamiento de la circulación predominante de poniente ocasionado por la configuración orográfica existente en su parte occidental (Capel-Molina, 1991). De todos modos su proximidad al Mar Mediterráneo favorece la aparición de episodios de precipitación sobre la región, fundamentalmente cuando aparece un importante flujo del Este en los niveles bajos de la atmósfera, siendo estos episodios más frecuentes en las épocas de primavera y otoño (García-Valero, 2007). A pesar de su pequeña extensión, 11.317km², la Región de Murcia presenta una configuración orográfica muy variada, alternándose montañas, valles, depresiones y llanuras (Romero, 1991). En general, la altitud disminuye desde el extremo NW (Sierra de Revolcadores) hacia el SE (Cabo de Palos), descenso que no es gradual, pues en la dirección SE-NW podemos encontrar sectores depredados como valles, depresiones, cuencas y corredores.

Tanto la localización de la Región de Murcia como su complejidad orográfica hacen que la predictibilidad de los modelos climáticos, en cuanto a la precipitación, sea baja. Pensamos que trabajos como este pueden ayudar a entender mejor la problemática asociada a la modelización de la precipitación y abren una puerta a la calibración de modelos estadísticos que emplean técnicas de downscaling, siempre y cuando se obtengan las relaciones entre estas regiones y los Tipos de Tiempo favorables a la aparición

de precipitaciones en la zona.

En este trabajo se han comparado una serie de regionalizaciones obtenidas por dos metodologías distintas (véase Sección 2.2) empleando ambas Análisis de Cluster. Para ello se han utilizado datos de precipitación diaria registrada en 31 estaciones a lo largo del período 1951-2000 (véase Sección 2.1). También se ha estudiado la dependencia de la regionalización con el período de tiempo escogido, con el fin de demostrar la robustez de la técnica de regionalización empleada, así pues, fueron comparadas dos regionalizaciones obtenidas para los períodos 1951-1975 y 1976-2000 (Sección 3.2). Por último se ha propuesto una regionalización que abarca el período 1951-2000 (Sección 3.3).

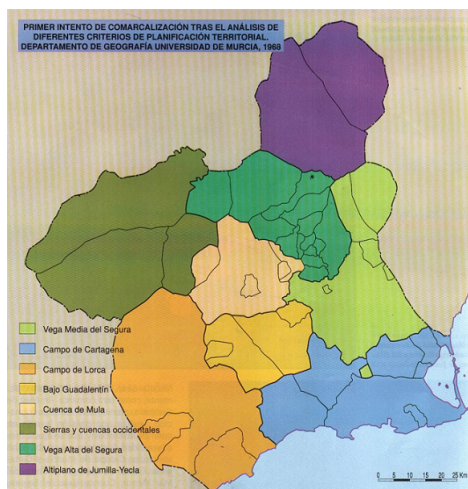


Figura 1. En la gráfica se muestra la división comarcal de la Región de Murcia de 1968 atendiendo entre otros a criterios climáticos y paisajísticos (Morales-Gil, 1991)

2. Datos y Metodología

2.1. Base de Datos

El problema más común con el que nos encontramos a la hora de abordar cualquier estudio climático que emplee datos reales, es precisamente las imperfecciones en la base de datos, debido fundamentalmente a la existencia de lagunas, inhomogeneidades en las series y escasa representación espacial en cuanto a la distribución de las estaciones en la zona de estudio. Por ello es necesario realizar previamente un control de calidad que tenga en cuenta todo esto en función de los objetivos de nuestro estudio. Trabajos como éste que tienen en cuenta la comparación de la variabilidad temporal entre las series de precipitación exigen un control importante en cuanto al tema de las lagunas y al perfecto registro temporal del dato.

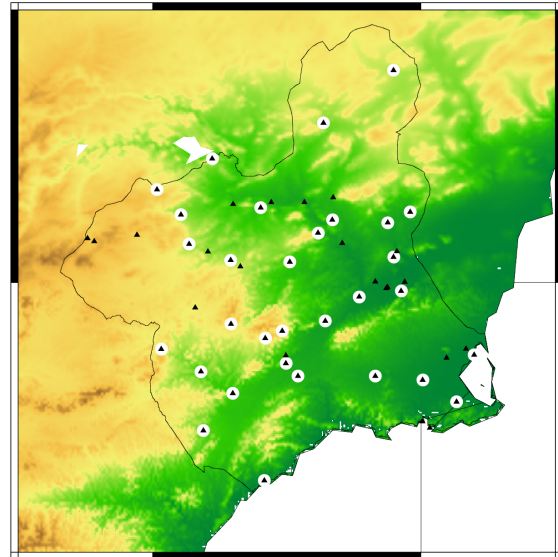


Figura 2. Estaciones con las que se contaba inicialmente (triángulo) y estaciones seleccionadas (círculo)

Para la selección de la Base de datos de precipitación diaria se empleó un conjunto inicial de 52 estaciones distribuidas por toda la Región de Murcia (datos facilitados por la Delegación Territorial de la AEMET en Murcia). Sin embargo, la falta de continuidad temporal en los registros por la presencia de lagunas y de los diferentes períodos de inicio y fin de las series, obligaron a realizar una selección de las estaciones con el fin de retener aquellas que presentasen un período común de registro lo suficientemente largo y con un porcentaje de lagunas lo suficientemente pequeño para ese período. Por otro lado, las estaciones seleccionadas debían cubrir la mayor parte de la geografía con el fin de alcanzar unos resultados lo suficientemente representativos.

Para la selección de las estaciones se buscó un período óptimo de 50 años donde se tuviera el mayor número de ellas, presentando sus series un porcentaje de lagunas inferior al 15 %, umbral que nos permite retener un mayor número de episodios de precipitación (umbrales inferiores al 15 % impedían obtener un conjunto de estaciones suficientemente representativo). Como resultado de este proceso se obtuvo el período 51-00 como el más óptimo, y un conjunto de 28 estaciones.

Aplicado este primer filtro, se evaluó la representatividad espacial de las estaciones observándose una falta de ella en el litoral sur, en el norte (Altiplano) y en la parte oriental de la comarca del Noroeste (véase Figura 1). Con el fin de salvar este inconveniente reconstruimos las series más modernas de las estaciones de Águilas, Jumilla y Bullas, empleando series más antiguas ubicadas en esas mismas localidades. Para ello se evaluó la correlación lineal entre las estaciones próximas para el período común de registro, y se

corrigeron pequeños desajustes de asignación del día de precipitación. Los coeficientes de correlación obtenidos en los días de lluvia para las series fueron muy altos (superiores a 0.9) lo que nos permitió evaluar la razón entre ambas series y completar hacia atrás en el tiempo las series más modernas. Añadiendo estas últimas tres estaciones a las anteriores, nuestra base de datos final quedó constituida por 31 estaciones que podemos ver en la Tabla 1 y en la Figura 2.

Conocidas las estaciones con las que se va a trabajar, se seleccionaron los episodios de precipitación, reteniendo sólo aquellos en los que se registraron al menos 5mm de precipitación en dos de las estaciones (umbrales similares emplearon otros autores como Romero et al. (1999)). De este modo se obtuvieron un total de 1140 episodios para los 50 años, de los cuales 528 corresponden al período 1951-1975 y 612 al período 1976-2000.

Nombre estación	código
Aguilas*	7002
Algar	7016
Fuente Alamo	7023
Pozo Estrecho	7026
San Javier	7031
Benizar	7080
Emb. Cenajo	7083
Moratalla CHS	7114
Caravaca	7119
Bullas*	7127
Emb. Alfonso XIII	7129
Jumilla*	7138A
Blanca	7155
Ricote	7156
Emb. De la Cierva	7168
Emb. Valdeinferno	7198
Emb. Puentes	7205
Zarzadilla de Totana	7206
Lorca CHS	7208
Puerto Lumbreras CHS	7211
Alquerias	7214
Presa Paretón	7217
Totana IL	7218
Huerta Espuña	7219
Librilla	7226
Alcantarilla	7228
Beniaján CHS	7231
Fortuna	7237
Los Cuadros	7238
Abanilla	7250
Yecla	7275

Tabla 1. Listado de las estaciones seleccionadas. Aquellas estaciones marcadas con * han sido completadas con otra serie más antigua presente en la misma localidad.

2.2. Metodología

Para la obtención de las regionalizaciones se emplearon dos metodologías distintas. La primera de ellas emplea sólo el Análisis Cluster (AC) para la agrupación de las estaciones, mientras que la segunda utiliza un Análisis de Componentes Principales (ACP) como paso previo al AC.

2.2.1. Análisis de Componentes Principales

El ACP permite seleccionar los patrones dominantes de variabilidad de un determinado campo estadístico eliminando aquellos modos que explican un porcentaje muy pequeño de la varianza total de nuestros datos, y que constituyen ruido para nuestro análisis. Para la obtención de las Componentes Principales (CPs) se empleó la matriz de correlación entre las series temporales de las estaciones, matriz que se obtuvo a partir de la matriz de datos dispuesta en modo S (Richman, 1986). Emplear la matriz de correlación en lugar de la matriz de covarianza permite la comparación de estaciones con diferente rango de variabilidad (Jiménez et al., 2008).

En Storch and Zwiers (1999) y Preisendorfer (1988) se puede encontrar una descripción completa del ACP, aunque resumidamente su objetivo final viene descrito por la Ecuación 1, donde aparece una descomposición de nuestro campo de datos, $X(\vec{x}, t)$, en el nuevo conjunto de variables definidas por las CPs, que se obtienen mediante la proyección de nuestro conjunto inicial de variables en el espacio vectorial de las Funciones Ortogonales Empíricas (EOFs). Para la selección de las m componentes retenidas (Ecuación 1) hemos empleado el test de Catell descrito en Catell (1966).

$$X(\vec{x}, t) = \sum_{i=1}^m \alpha_i(t) e_i(\vec{x}) \quad (1)$$

Donde $\alpha_i(t)$ son las CPs, $e_i(\vec{x})$ son las EOFs y m es el número de CP retenidas.

2.2.2. Análisis Cluster

El objetivo de todo AC es encontrar grupos donde sus elementos sean lo más parecidos entre sí, pero lo más diferente posible a los elementos de los demás grupos. Para ello, se hace necesario definir una medida de distancia entre los elementos, siendo la distancia euclídea (Ecuación 2) la medida de disimilaridad empleada por nosotros. Definida esta distancia se determina una matriz de distancia donde cada una de sus filas representa un vector distancia entre una estación y el resto. Es en la obtención de esta matriz donde difieren las dos metodologías empleadas en nuestro estudio, así, mientras la primera emplea como matriz de

distancia la calculada a partir de la matriz de correlación de los datos, la segunda calcula la matriz de distancia a partir de la distancia entre los pesos que presentan cada una de las estaciones en los principales EOFs retenidos.

$$d_{\bar{x}_i \bar{x}_j} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^N (X_i - X_j)^2} \quad (2)$$

Definidas las matrices de distancia se les aplicó un AC jerárquico, tipo Ward, con el fin de determinar el número de regiones en el que agrupar las estaciones, y posteriormente, se utilizó un procedimiento no jerárquico, K-medias, para obtener la agrupación final.

El AC jerárquico establece un orden entre los elementos en relación a la distancia a la que éstos se unen para formar un grupo. El orden queda reflejado en los dendogramas, gráficas donde se muestra una estructura arbórea y en la que aparece representada la distancia a la cual se unen los distintos elementos para formar grupos (Figura 3 derecha). Mediante el algoritmo de Ward los elementos se van uniendo y constituyendo en grupos tras sucesivas etapas de agrupación. Al principio se unen los elementos más cercanos formando pequeños grupos y en las siguientes etapas, los elementos que no se habían unido anteriormente comienzan a unirse a otros elementos o a otros grupos ya formados, de manera que los grupos, tras las sucesivas etapas van siendo cada vez más grandes y van englobando a elementos más distantes, produciéndose un aumento de la variabilidad dentro de cada grupo. El algoritmo de Ward tiene la particularidad de unir los elementos al grupo que experimenta un menor aumento de su varianza (Ward, 1963), garantizando una mayor homogeneidad entre los elementos de un mismo grupo. Al final de todas las etapas de agrupación (tantas como elementos se tengan) todos los elementos se unen en un mismo grupo, es por ello necesario detener las agrupaciones en un momento dado, para ello debe escogerse un valor de distancia máxima a la que un elemento puede agregarse a un determinado grupo. Lo delicado del AC jerárquico es determinar el valor umbral, para ello hemos empleado la Figura 3 izquierda en ella se representa la distancia de agrupación en función del orden de la etapa de agrupamiento. Al principio, esta distancia toma valores bajos, pero según acabamos de explicar, su valor irá siendo cada vez mayor, la distancia elegida será aquella en la que se observe un salto significativo, significando esa discontinuidad una importante disimilaridad de los elementos que se unen para formar grupo en esa etapa de agrupación.

Definido el número de grupos en el que queremos agrupar nuestras estaciones, se aplicó el método de K-medias para la agrupación final. Este algoritmo trata de distribuir las estaciones (elementos) en los grupos

deseados, de forma que inicialmente define aleatoriamente tantas semillas como grupos quieran obtenerse, siendo estas semillas los vectores que representan a las estaciones en la matriz de distancia obtenida anteriormente. Así, todas las estaciones se unen a sus semillas más próximas en la primera etapa de agrupación, uniéndose de forma que cada estación se asigna al grupo que experimenta un menor aumento de su varianza. Ubicados los elementos en sus grupos se determinan entonces los centroides de cada grupo (valor medio de los vectores asignados a ese grupo) y se deshace la agrupación. Comienza de nuevo otra etapa de agrupamiento donde los elementos vuelven a asignarse a su centroide más próximo con los mismos criterios que antes. De esta manera, el proceso se repite una y otra vez, pudiendo haber cambios de asignación de las estaciones de unos grupos a otros. El algoritmo finaliza cuando no se producen reasignaciones de las estaciones (Gong and Richman, 1995) con respecto a la etapa anterior.

El hecho de producirse reasignaciones de los elementos de unos grupos a otros es una de las ventajas de las técnicas no jerárquicas frente a las jerárquicas, pues estas últimas si en alguna etapa de agrupación asignan erróneamente a un grupo un elemento, éste no podrá ser recolocado (Anderberg, 1973) y la agrupación final será errónea.

Este procedimiento que emplea las dos etapas de AC, ha sido utilizado en otros trabajos (Jiménez et al. (2008), Kaufmann and Weber (1996), etc) demostrando unos resultados superiores que los que emplean una sola etapa (Milligan, 1980).

3. Resultados

Según las metodologías empleadas se obtuvieron diversas regionalizaciones para cada uno de los períodos de estudio. En la Tablas 2 y 3 podemos ver un resumen de los puntos más significativos para obtener la regionalización de cada uno de los períodos de estudio y para cada metodología empleada (sin filtrar y filtrando con ACP).

Período	NR
51-00	9
51-75	7
51-76	8

Tabla 2. Número de regiones encontradas (NR) para cada período cuando regionalizamos sin emplear ACP.

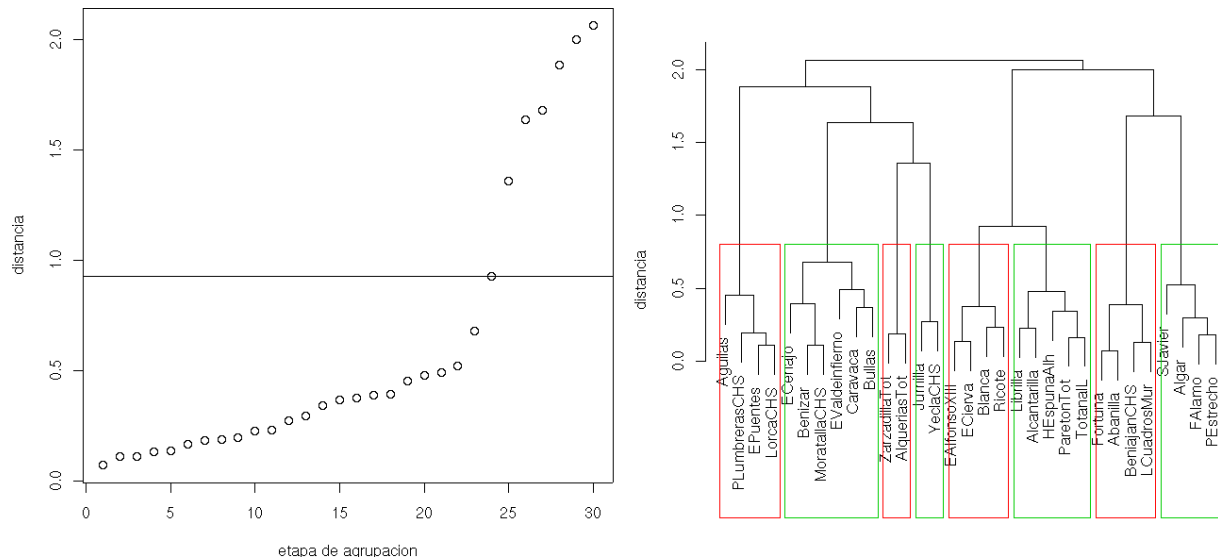


Figura 3. En la gráfica de la izquierda se muestra la distancia a la que se van uniendo las diferentes estaciones en el algoritmo de Ward, indicándose la distancia de corte empleada. A la derecha se muestra el dendrograma y el número de grupos a retener según la distancia de corte obtenida. Ambas gráficas han sido obtenidas para la regionalización 51-00 empleando como filtro el ACP.

Período	CPr	Var	NR
51-00	7	71 %	8
51-75	6	63.4 %	7
51-76	7	76.4 %	8

Tabla 3. Según el período de tiempo podemos ver el número de CPs retenidas (CPr), porcentaje de varianza explicado (Var) y número de regiones encontradas (NR).

En la Figura 4 se muestran las regiones encontradas. Se observa como aparecen ciertas diferencias entre ellas en función de la metodología y el período de tiempo utilizado. En general, en todas ellas se observa un número entre 7 y 9 regiones, obteniéndose con ambas metodologías un menor número de regiones en el período 51-75.

3.1. Dependencia de la regionalización según la metodología

Se puede ver cómo existen diferencias en las regiones encontradas empleando una u otra metodología para el mismo período temporal, con excepción del período 51-75 donde la regionalización obtenida es independiente del método, sin embargo se aprecian diferencias para el segundo período de 25 años sobre todo en las regiones del sur, donde además aparece una región compuesta por una sola estación (Águilas) en la regionalización obtenida con el primer método (sin emplear ACP). También encontramos diferencias para el período de 50 años, obteniéndose una región más con la primera metodología (Tablas 2 y 3).

Como norma general, el método que no emplea el filtro de CPs proporciona regiones más pequeñas,

apreciándose este hecho de forma muy clara en el período de 50 años, sobre todo en las regiones del centro-este y sur de la comunidad. El motivo de obtener regiones compuestas por mayor número de estaciones con la segunda metodología podría explicarse porque al filtrar los datos con el ACP y retener los principales modos de variabilidad se elimina ruido que puede provenir de registros locales que incluyan episodios de precipitaciones fuertes que sólo afectan a una única estación o a un conjunto pequeño, aportando estos episodios una fracción muy pequeña a la varianza total de los datos, episodios sí considerados por el primer método.

La selección previa de los episodios de precipitación (Sección 2.1) permitió eliminar un gran número de ellos que hubieran introducido un mayor ruido al análisis y por ello las diferencias en los resultados con una y otra metodología no son muy significativas, no obstante parece más adecuado emplear la segunda metodología teniendo en cuenta las características de la Región de Murcia y de la precipitación.

3.2. Dependencia de la Regionalización con el periodo usado

Para el estudio de la dependencia temporal de la regionalización se compararon las regiones obtenidas con la segunda metodología para los dos períodos de 25 años. En la Figura 4 podemos ver que en el primer período de tiempo se obtiene una región menos que en el segundo. Se aprecia también como las regiones formadas desde la mitad central hacia el sureste se vuelven más pequeñas en el segundo período, y por contra, las regiones en la zona noroeste y centro-norte se

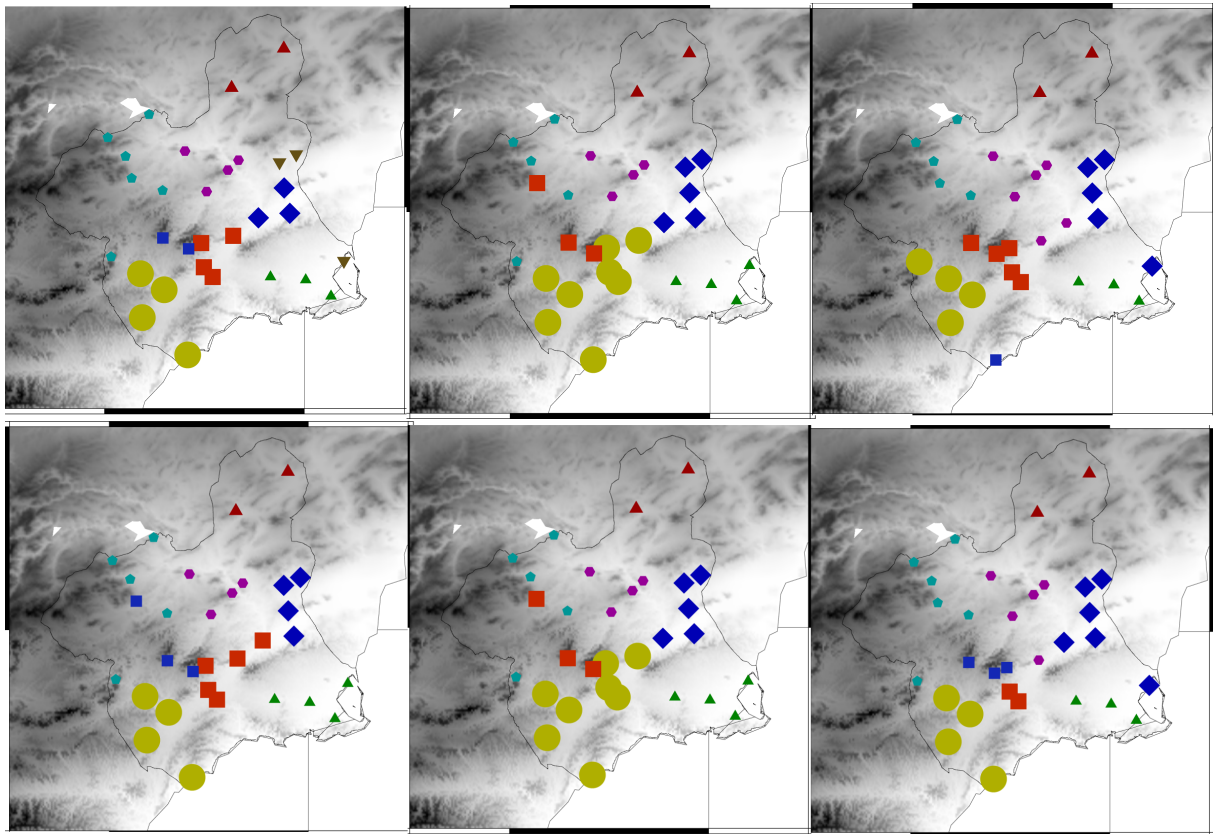


Figura 4. La figura de arriba representa las regionalizaciones obtenidas sin filtrar con CPs. De izquierda a derecha encontramos los períodos 1951-2000, 1951-1975 y 1976-2000. En la figura de abajo aparecen las Regionalizaciones obtenidas filtrando con CPs. De izquierda a derecha encontramos los períodos 1951-2000, 1951-1975 y 1976-2000.

vuelven más grandes en el segundo período. Se produce por tanto un aumento de la variabilidad espacial de las precipitaciones hacia el sureste y una disminución de la variabilidad espacial hacia el noroeste, donde parece ser que en los últimos 25 años llovió de forma más regular que en el sureste.

En la Figura 5 se representa el porcentaje de cambio, en el segundo período, en las precipitaciones medias (para los episodios considerados) con relación a los primeros 25 años. Como hecho más destacable se observa un aumento de las precipitaciones medias diarias entorno a un 30 % en la zona del Campo de Cartagena sobre todo en su mitad sur, siendo quizás la causa de que la estación de San Javier no se agrupe con las del Campo de Cartagena y sí lo haga con las de la Región Este localizada más al norte (Sección 3.3). Se aprecia también un aumento significativo de las precipitaciones entorno al 20 % en la parte occidental de la Región, lo que da lugar a la unión de las estaciones de Valdeinfierno y Caravaca en la comarca del Noroeste durante el período 76-00. Por otro lado, en el Altiplano se produjo un descenso entorno al 20 % mientras en la zona suroriental de la Región no se produjeron cambios significativos.

Con el fin de localizar las zonas que experimentaron un régimen de precipitación más irregular en cuanto a las cantidades recogidas, se ha obtenido el porcentaje de cambio en la varianza en el segundo período respecto del primero, reflejándose este hecho en la Figura 5. En ella se observa que el Campo de Cartagena y el Mar Menor son las zonas con un régimen más irregular, donde se aprecian aumentos muy elevados alrededor del 120-140 %, aumento que puede deberse a la aparición de episodios extremos en esta zona del litoral, pues su distribución espacial se asemeja mucho a este tipo de episodios. En García-Valero (2007) puede encontrarse un patrón espacial de precipitación (RP6) que presenta un gran parecido con este patrón de varianza. Otra zona con importante aumento de la varianza se localiza en la comarca del Río Mula con aumentos alrededor del 60 %. De los resultados obtenidos podríamos resumir que el aumento de la variabilidad temporal en las estaciones del Campo de Cartagena y del Río Mula puede deberse a la mayor frecuencia de aparición durante el segundo período de episodios que registraron precipitaciones fuertes en estas regiones. En García-Valero (2007) se encontraron que los episodios más importantes de precipitaciones en estas zonas eran aquellos relacionados con situaciones sinópticas que producían un importante flujo del este en la región (Tipos de Tiempo 3, 6 y 8), además, estas precipitaciones suelen ser bastante extendidas por la zona oriental, centro y oeste, y algo menos hacia el norte y el sur, lo que de alguna manera vendría a apoyar aún más los resultados obtenidos en este trabajo.

Analizados ambos períodos de 25 años se aprecia hubo diferencias en el régimen de precipitaciones

que no afectaron por igual a todas las zonas, lo que prodría indicarnos que la dinámica atmosférica pudo presentar cambios significativos, tales como la mayor o menor frecuencia de aparición de unos determinados patrones atmosféricos. Con el fin de verificar si hubo cambios en la dinámica causante de las diferentes regionalizaciones se ha estudiado la evolución temporal (frecuencias de la fase positiva y negativa) de la segunda CP, ya que es la segunda componente en importancia de varianza explicada (8.5 %) y además presenta una alta señal en la zona suroccidental (región donde encontramos las mayores diferencias entre los distintos subperíodos), de forma que las estaciones ubicadas en esta área presentan un peso importante con la fase negativa de esta componente (Figura 6).

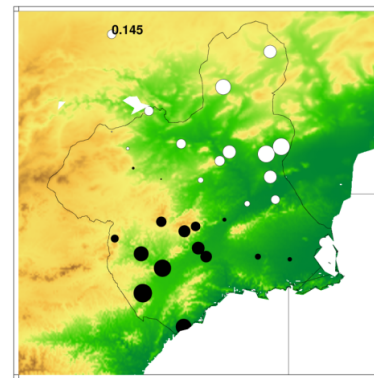


Figura 6. Distribución espacial de los pesos de la Función Ortogonal Empírica asociada a la segunda Componente Principal. Los pesos negativos se representan en círculos negros y los positivos en blanco. Cuanto mayor es el tamaño del círculo mayor es el peso vinculado a la estación.

En la Figura 7 podemos ver representada la segunda Componente Principal y su media móvil para 51 términos, observándose un ligero aumento de la fase positiva en el segundo período. Calculando la razón entre la fase positiva y negativa, obtuvimos unos valores de 0.866 y 1.075 para el primer y segundo período respectivamente, porcentajes que nos muestran un aumento de la frecuencia de la fase positiva en prácticamente un 21 %, lo que explicaría las diferencias encontradas en las regionalizaciones.

Para demostrar la robustez de los resultados se han obtenido dos nuevas regionalizaciones empleando los días en los que se produjo la fase negativa y la fase positiva respectivamente. En la Figura 8 se aprecia el gran parecido de las regiones en la fase negativa con el período 51-75 y en la fase positiva con el período 76-00, siendo este parecido tanto mayor en las regiones donde se dan las mayores diferencias en las regionalizaciones.

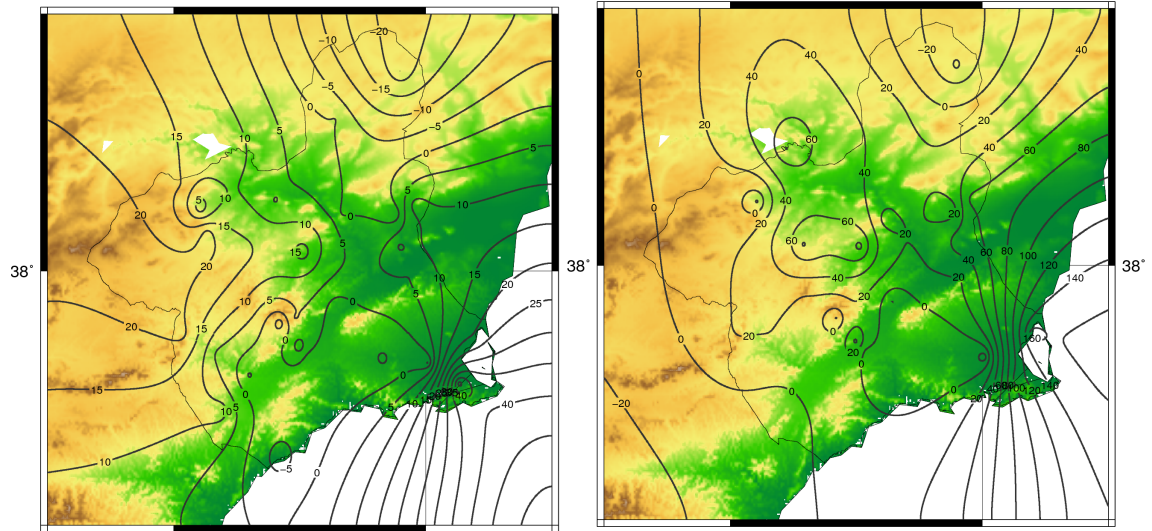


Figura 5. Porcentaje de cambio en el valor medio (izquierda) y en la varianza (derecha) de la precipitación diaria en el período 76-00 respecto al período 51-75.

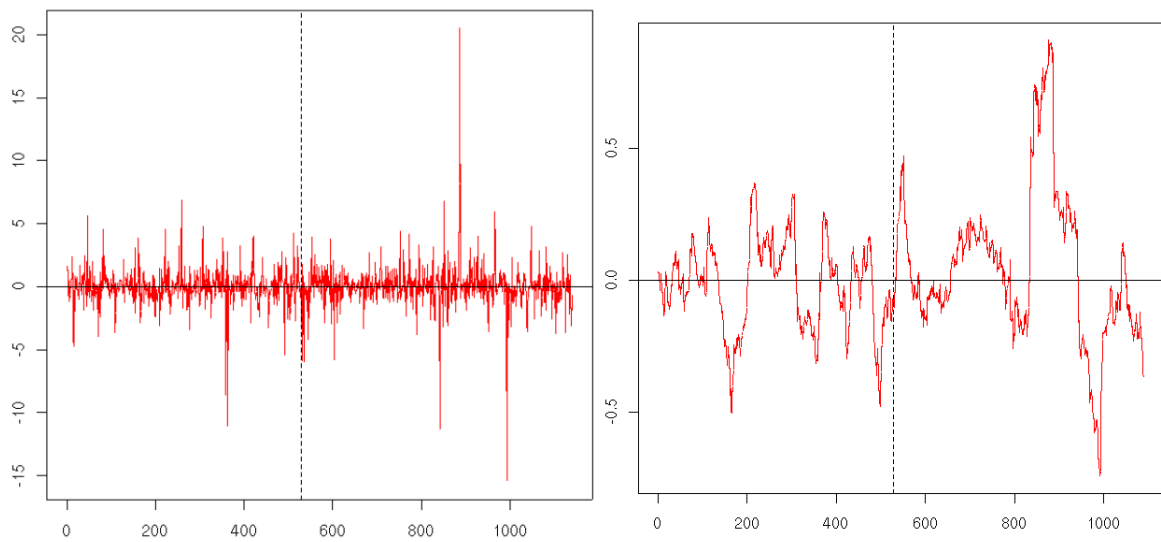


Figura 7. En la gráfica de la izquierda se muestra la evolución temporal de la segunda Componente Principal. A la derecha puede verse la misma serie aplicándole una media móvil de 51 términos.

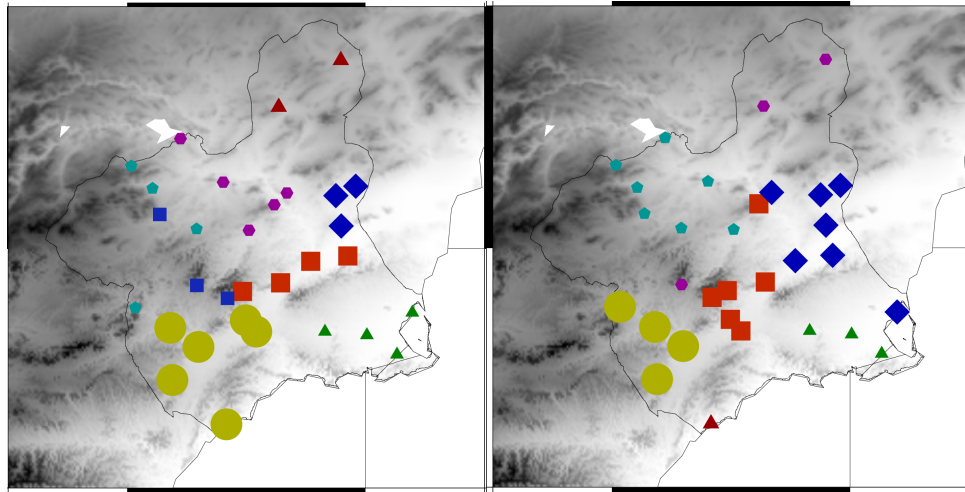


Figura 8. Regionalizaciones obtenidas sólo con los casos negativos (izquierda) y positivos (derecha) de la segunda Componente Principal

3.3. Regionalización propuesta

Estudiada la dependencia de la regionalización según la metodología empleada y demostrada la influencia de ésta con la dinámica atmosférica pensamos que la regionalización más adecuada será la que emplee la metodología del filtrado y el período más largo, pues es aquel que tiene una mayor estadística de la dinámica. La regionalización que proponemos es la que aparece en la Figura 4b para el período de 50 años y que divide a la Región de Murcia en 8 subregiones con comportamiento similar temporal en las precipitaciones diarias. Por su localización geográfica y por coherencia con la clasificación comarcal de la Región de Murcia (Figura 1) hemos denominado a las regiones de la siguiente manera:

- **Región del Este**

Constituida por las estaciones localizadas más hacia el Este de la Región, en su parte central, desde Abanilla hasta la capital murciana.

- **Región del Bajo Guadalentín**

Formada por las estaciones localizadas en la zona oriental de Sierra Espuña y noroccidental de la Sierra de Carrascoy.

- **Región del Alto Guadalentín**

Comprende las estaciones localizadas más al sur de la Región.

- **Campo de Cartagena**

Se engloban las estaciones litorales e interiores del Campo de Cartagena y del Mar Menor como es el caso de San Javier.

- **Noroeste**

En esta región se agrupan las estaciones más occidentales, localizadas fundamentalmente en

la región más montañosa y alta de la Región de Murcia. Abarca estaciones desde el Embalse de Valdeinfierno hasta el Embalse del Cenajo.

- **Sierra Espuña**

Incluye las estaciones de la zona de Sierra Espuña en su fachada occidental hasta la estación de Caravaca, constituyendo lo que sería la zona sur y norte de los terminos de Caravaca y Lorca respectivamente.

- **Centro-Norte**

En esta región se agrupan las estaciones de la Vega Alta y del Valle de Ricote.

- **Altiplano**

Región formada por las estaciones más septentrionales de la Región, Jumilla y Yecla.

Definidas las regiones es interesante el ver la similitud temporal entre ellas. Según se aprecia de la regionalización obtenida, hay una fuerte relación de las regiones con la orografía (ubicadas en valles, a uno u otro lado de cadenas montañosas, zonas altitanicies, montañosas...), algo que por otro lado es determinante para la distribución de las precipitaciones en una determinada zona. Analizando las series medias regionales y la matriz de correlación entre ellas (Tabla 4), se aprecia la baja correlación entre ellas, especialmente entre la serie del Altiplano y el resto. Como norma general, la correlación aumenta cuando la distancia entre las regiones es menor, no obstante en los mejores casos, la correlación es del orden de 0.7 para las regiones del Alto y Bajo Guadalentín, que son las más parecidas, e incluso, ya vimos que, en el período 51-00 todas ellas constituían una sola región.

Región	Reg.1	Reg.2	Reg.3	Reg.4	Reg.5	Reg.6	Reg.7	Reg.8
Reg.1	1.0							
Reg.2	0.45	1.0						
Reg.3	0.43	0.67	1.0					
Reg.4	0.18	0.47	0.53	1.0				
Reg.5	0.3	0.69	0.60	0.71	1.0			
Reg.6	0.27	0.53	0.63	0.59	0.69	1.0		
Reg.7	0.22	0.49	0.38	0.45	0.65	0.48	1.0	
Reg.8	0.40	0.69	0.48	0.41	0.62	0.45	0.64	1.0

Tabla 4. Correlación lineal encontrada entre las series medias regionales para el período 51-00. Las regiones 1,2,3,4,5,6,7 y 8 corresponden a las regiones Altiplano, Centro-Norte, Noroeste, Alto Guadalentín, Bajo Guadalentín, Sierra Espuña, Campo de Cartagena y Región Este respectivamente.

4. Conclusiones

En nuestro estudio hemos buscado una regionalización de las precipitaciones diarias para la Región de Murcia. Para lograrlo, en primer lugar hemos comparado dos metodologías de regionalización. Ambos métodos emplean dos etapas de AC, primero un algoritmo jerárquico (Ward) para determinar el número de grupos y posteriormente otro no jerárquico (K-medias) para la agrupación final. Hemos obtenido que la metodología que emplea el ACP, proporciona una regionalización menos ruidosa, con regiones algo mayores y menos efectos locales.

Posteriormente, hemos analizado la dependencia de la regionalización con el período de tiempo. Comparando las regiones obtenidas en los períodos 51-75 y 76-00, se han obtenido diferencias significativas en las regiones ubicadas al sur y oeste, siendo precisamente estas zonas en las que se observaron los cambios más importantes en el régimen de precipitaciones de un período a otro. Para explicar los cambios hemos estudiado la frecuencia de aparición de la fase positiva y negativa de la segunda CP, fases relacionadas con patrones atmosféricos que presentan una importante señal en las regiones donde se observan las diferencias más notorias. Los resultados obtenidos del análisis revelan un predominio de la fase negativa en el primer período lo que demuestra la sensibilidad de la técnica de regionalización a los cambios en la dinámica atmosférica.

Por último, se ha propuesto una regionalización obtenida para el período 51-00 que divide a la Región de Murcia en 8 subregiones diferentes en cuanto al comportamiento de las precipitaciones diarias. El grado de disimilitud entre las regiones se midió empleando los coeficientes de correlación lineal entre las series medias regionales, obteniéndose en general valores bajos que certifican la validez de la técnica de regionalización empleada.

Agradecimientos

Agradecemos a la Delegación Territorial de la AEMET en Murcia la cesión de la base de datos de precipitación diaria. También nuestro agradecimiento a Pedro Jiménez y a Jesús Fidel González-Rouco por su valiosa colaboración. Por último agradecer a la Fundación Séneca de la Región de Murcia, entidad financiadora del proyecto 00619/PI/04, dentro del cual está enmarcado este trabajo.

Referencias

- M.R. Anderberg. *Cluster Analysis for Applications*. Academic press, New York, 1973.
- J.J. Capel-Molina. *Atlas de la Región de Murcia*, chapter El Clima Murciano (Los elementos), pages 97–108. La Opinión de Murcia S.A., 1991.
- R.B. Catell. The scree test for the number of pcs. *Multivar. Behav. Res*, 1:245–276, 1966.
- J.A. García-Valero. Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones diarias en la región de murcia. Master's thesis, Universidad Politécnica de Cartagena, 2007.
- X. Gong and M.B. Richman. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in north america east of the rockies. *International journal of climatology*, 8:897–931, 1995.
- P.A. Jiménez, J.F. González-Rouco, J.P. Montávez, J. Navarro, E. García-Bustamante, and F. Valero. Surface wind regionalization in a complex terrain region. *Journal of applied meteorology and climatology*, 47:308–325, 2008.
- P. Kaufmann and R.O. Weber. Classification of mesoscale wind fields in the mistral field experiment. *Appl.Meteor*, 38:1963–1979, 1996.
- F. Martínez and M. Bañón. *Peculiaridades del clima del sudeste peninsular*, chapter Análisis de Componentes Principales de las Precipitaciones diarias

- en la cuenca del Segura. Método de Regionalización, pages 121–157. Asociación Meteorológica Española, 1987.
- G.W. Milligan. An examination of the effect of six types of error perturbation of fifteen clustering algorithms. *Psychometrika*, 45:325–342, 1980.
- A. Morales-Gil. *Atlas de la Región de Murcia*, chapter Las Comarcas y las Divisiones comarcales, pages 373–384. La Opinión de Murcia S.A, 1991.
- R.W. Preisendorfer. *Principal components analysis in meteorology and oceanography*. Elsevier, New York, 1988.
- M.B. Richman. Rotation of principal components. *International journal of climatology*, 6:293–335, 1986.
- M^a.A. Romero. *Atlas de la Región de Murcia*, chapter Reproducción del Clima Murciano a escala 1:200.000 topográfico, pages 25–36. La Opinión de Murcia S.A, 1991.
- R. Romero, C. Ramis, and J.A. Guijarro. Daily rainfall affinity areas in mediterranean spain. *International journal of climatology*, 19:557–578, 1999.
- V. Storch and W. Zwiers. *Statistical analysis in climate research*, chapter Empirical ortogonal functions. Cambridge University Press, 1999.
- J.H. Ward. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Amer. Stat. Assoc*, 58:236–244, 1963.