



ALEATORIEDAD GEOGRÁFICA EN LOS CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN DE LAS SERIES MÁS LARGAS DE ESPAÑA

Juan José Sanz Donaire

Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física (UCM)
jjsanzdo@ghis.ucm.es

Conrado Miguel Manuel García

Dpto. de Estadística e Investigación Operativa (UCM)
deio3dir@estad.ucm.es

Recibido: 6 de febrero de 2006
Aceptado: 20 de marzo de 2006

RESUMEN:

En el presente artículo se realizan una serie de pruebas estadísticas para determinar si los valores positivos (mayores que la media expresados en desviación respecto de la misma) de precipitación anual para unas 50 estaciones españolas, se distribuyen aleatoriamente. Los agrupamientos realizados van desde considerar un único grupo, hasta la total desagregación. También se ha realizado grupos atendiendo a mallas geográficas (latitud-longitud) de diverso espaciado, y por regiones climáticas. El resultado en todos los casos ha sido la aleatoriedad.

Palabras clave: Precipitación, aleatoriedad espacial, España.

GEOGRAPHICAL RANDOMNESS IN THE CHANGES OF RAINFALL OF THE LONGEST SERIES OF SPAIN

ABSTRACT:

In the present paper several statistical essays are made to determine whether the positive values of annual rainfalls (bigger than the mean, as expressed in deviation) for 50 Spanish rain gauges are distributed in a random way. Different clusterings has been made: from a unique group to total desaggregation. Other groups were made according to geographical grids (latitude-longitude) in several spacing, and according to climatic regions. In any case results confirm spatial randomness.

Keywords: Rainfall, spatial randomness, Spain.

RÉSUMÉ:

Dans ce travail on a fait des differents preuves statistiques por déterminer si les valeurs positifs des précipitations annuelles (plus hautes que la moyenne, expressées selon la déviation) à 50 observatoires pluviométriques on t une distribution aléatoire. On a fait des groupages divers: du groupe unique jusqu' à la desaggregation absolue. Des autres groups selon una maille géographique (latitude-longitude) à espacements differents et selon des regions climatiques. Dans tous les cas les resultats confirment la distribution aléatoire spatiale.

Mots clé: Précipitation, distribution spatiale aléatoire, Espagne.

Desde hace cierto tiempo estamos insistiendo en la necesidad de llevar a cabo un análisis estadístico (Pérez González y Sanz Donaire, 2000; Pérez González y Sanz Donaire, 2001) y geográfico lo bastante riguroso como para poder afirmar que los cambios que se observan en los registros de precipitación en España para las series instrumentales más largas son aleatorios (Sanz Donaire, 2001, 2002 a, 2002 b, 2003). Tampoco se ha descuidado el trabajo en otros países como Egipto (Sanz Donaire, 2003) o México (Sanz Donaire, 2004). Y desde la óptica espacial de uno de nosotros, interesa más poner de relieve la aleatoriedad geográfica que la temporal. Por cierto que a ésta última también hemos dedicado ciertos esfuerzos (Sanz Donaire, 1999; Sanz Donaire y Jiménez Blasco, 2003; Sanz Donaire y Jiménez Blasco, en prensa; Ojeda Martín y Sanz Donaire, 2005).

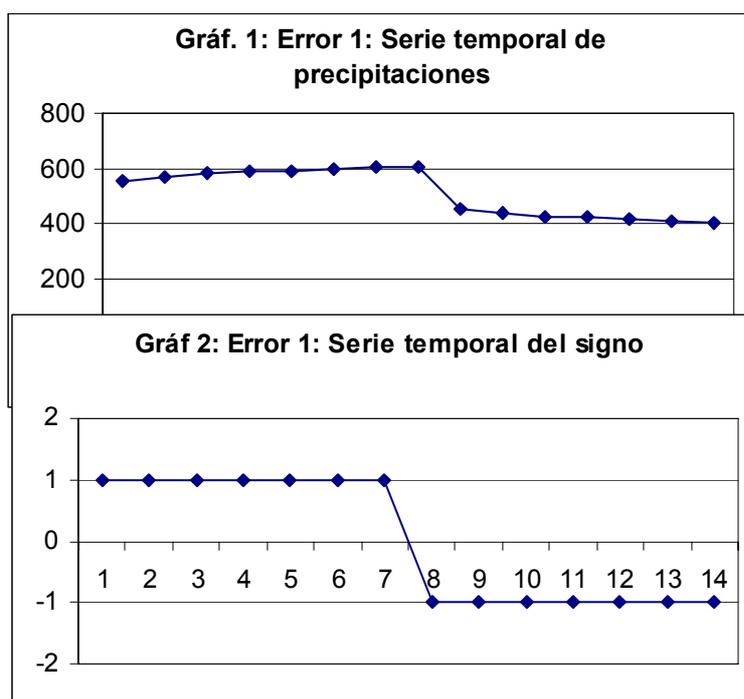
Es intención del presente artículo la aportación de pruebas que permitan afirmar que la variación de las precipitaciones se produce en el territorio español de un modo aleatorio, esto es, que no obedece a tendencias, o al decir de los geoestadísticos (Samper y Carrera, 1996) "derivadas" definidas, ni a ciclos.

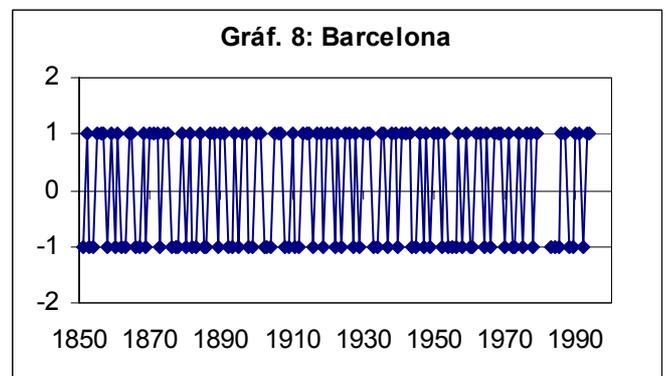
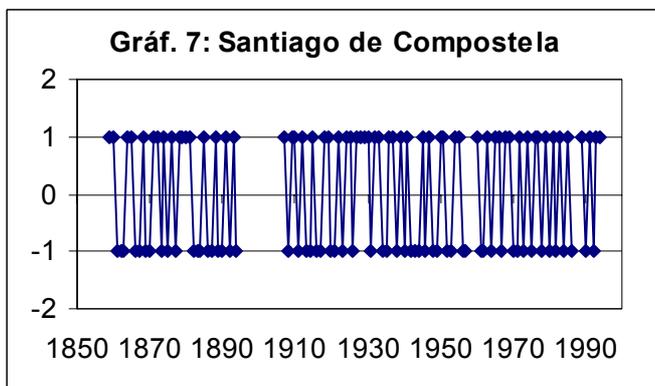
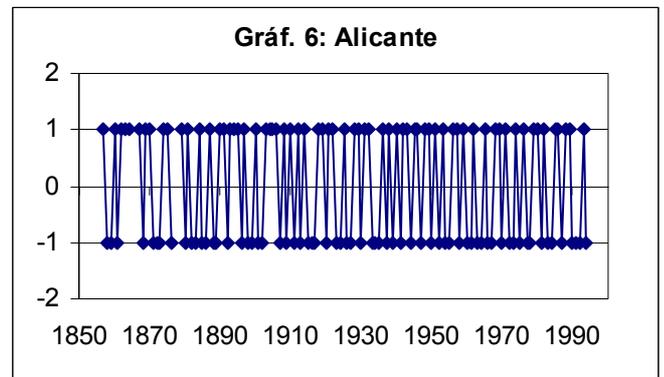
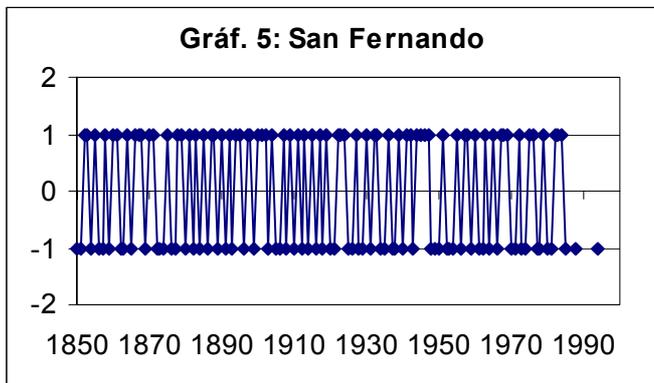
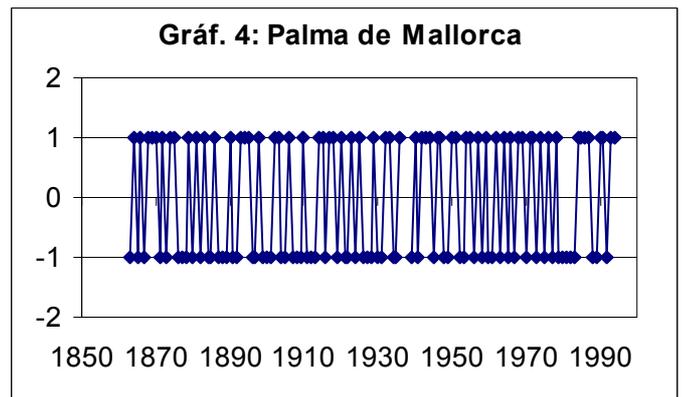
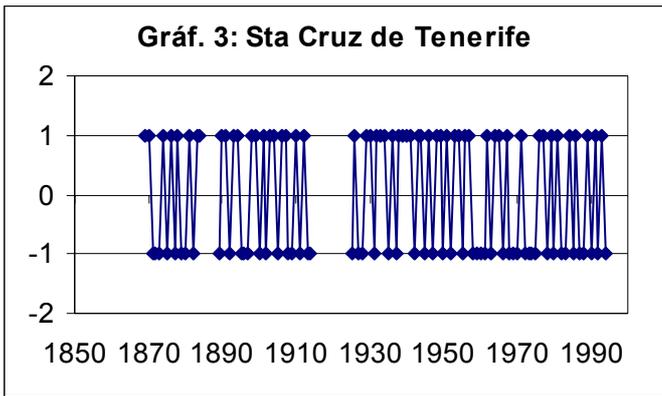
Para llevar a buen puerto nuestra empresa, se ha utilizado la serie de datos del total de precipitación anual que publicó el Instituto Nacional de Meteorología (Almarza *et al.* 1996) para las estaciones pluviométricas de registro más largo del territorio nacional, cuyo número asciende a 50. Se ha tenido que cotejar estos datos con otras fuentes, como los anuarios del viejo Instituto Geográfico y Estadístico, lo mismo que mejorar en los evidentes errores de cálculo de los totales anuales. Debe quedar claro que los datos no han sufrido una ulterior elaboración de homogeneidad, sino que se utilizan, en principio y por principio, crudos. No obstante, a tenor de la voluntad de poner de manifiesto sobre todo la aleatoriedad en la variabilidad temporal, se ha procedido a tratar los datos originales de tal modo que el resultado de la mencionada variabilidad fuera de +1 si el dato de un año sobrepasaba al del año anterior, o bien de -1 si la cifra anual era inferior. Quedaba una tercera posibilidad: la de la igualdad con el valor del año precedente. Pero debe decirse que, en ningún caso de los 4.952 con los que se ha trabajado, se ha presentado esta ocasión. Y ello es harto comprensible: aunque por pura probabilidad teórica cabría esperar 1/3 de los casos así, la probabilidad desciende notabilísimamente cuando se tiene en cuenta que la inmensa mayoría de los registros de precipitación son números de 4 dígitos (salvo para los observatorios del Norte de la Península más húmedo, que suelen tener 5). La explicación de los números con tales dígitos radica en el hecho de que el INM, por acuerdo internacional, ofrece los totales de precipitación en décimas de milímetro. Efectivamente, con 4 dígitos la probabilidad teórica de que se repitiera un valor es de 1/10.000, y de 1/100.000 en los casos de 5 dígitos. La probabilidad real aumenta considerablemente, pues, si bien es verdad que para los valores de 4 dígitos de puede alcanzar el máximo (999,9), es impensable que en algún lugar español la lluvia (total anual de algún año, por muy larga que sea la serie de registro) sea inferior a 150,0 mm. Incluso teóricamente se habría reducido el espacio de casos posibles a unos 8.500 por lo que la probabilidad aumentaría de 0,0001 a $1,176 \times 10^{-4}$. Para los registros de la España húmeda con 5 dígitos, también habría que acotar el valor máximo que, en ningún caso, ha sobrepasado los 3.000,0 mm, luego la probabilidad es de 1/20.000 ó 0,00005. La probabilidad desciende aún más porque se trata de que los valores repetidos sean sucesivos: luego las probabilidades se elevan al cuadrado. De ahí que, finalmente y tal y como cabía esperar de la probabilidad teórica, no se ha constatado ningún caso de repetición en los totales anuales de precipitación de dos años consecutivos. Estos cálculos no se habrían cumplido si España estuviera, como Egipto, en un sector seco, desértico, donde la precipitación alcanza con frecuencia el mínimo absoluto de 0 mm ó litros por metro cuadrado.

El trabajo de carácter espacial no ha seguido las andaduras de otros autores, como Kretz (1969), por la evidente razón de que se trata de un supuesto bien distinto: mientras que en el caso bibliográfico se trata de estudiar la aleatoriedad de la posición de cristales mineralógicos en el espacio tridimensional (aunque reducido a un plano, el del corte del microtomo), estando las posiciones en tal espacio no determinadas - *a priori* - por ningún condicionante, lo que se conoce como fruto de un proceso aleatorio independiente pues no hay constricciones espaciales, en el caso que ahora nos ocupa las posiciones de los valores observados se realizan en los observatorios que previamente se han fijado en el espacio. Nuestro muestreo tiene mucho de sistemático (posiciones fijas de las estaciones, intervalos de tiempo regulares). Por idénticas razones sólo parcialmente se ha aplicado la metodología del clásico análisis espacial (Unwin, 1981, pág. 56) que establece el contaje de puntos en cuadrados (en nuestro caso áreas entre meridianos y paralelos equidistantes) respecto de los valores esperados, teniendo en cuenta una previa homogeneidad por equiprobabilidad, premisa necesaria para la aleatoriedad, aunque no la única. Por otra parte en el trabajo de Hainings (1990; pág 160) se plantea la posibilidad de que al efecto de considerar aleatoria la distribución en el espacio de una determinada variable (en el caso que nos ocupa, la altura de precipitación) se estudie la secuencia de mapas teniendo como modelo de referencia a efectos de comparar no un más que hipotético mapa aleatorio (cuya construcción, atendiendo a la propia noción de aleatorio, es de máxima dificultad por impredecible), sino el mapa anterior. Alguno de nosotros ha optado por realizar este ensayo mediante la comparación con el mapa de valores medios y expresar las diferencias o desviaciones respecto de éste a través de la cartografía de las desviaciones porcentuales de precipitación respecto de la media. Una parte del mencionado trabajo puede verse en el CD que acompaña a la obra (Sanz Donaire, 2005). En definitiva se trata de álgebra de mapas.

Para que el estudio de naturaleza geográfica fuera coherente, fue preciso previamente obviar el problema de que los valores de la serie, aun respetando en líneas generales el mismo número de +1 que de -1, no presentaran los primeros (ni, por ende, los segundos) agrupados en el tiempo (tabla 1 y gráficos 1 y 2: Error 1). Pues, en ese caso, no cabría hablar de aleatoriedad temporal. Para ello se han expuesto, a modo de ejemplo, algunos casos del conjunto de las 50 series para las que se realizó el estudio (gráficos 3 a 8).

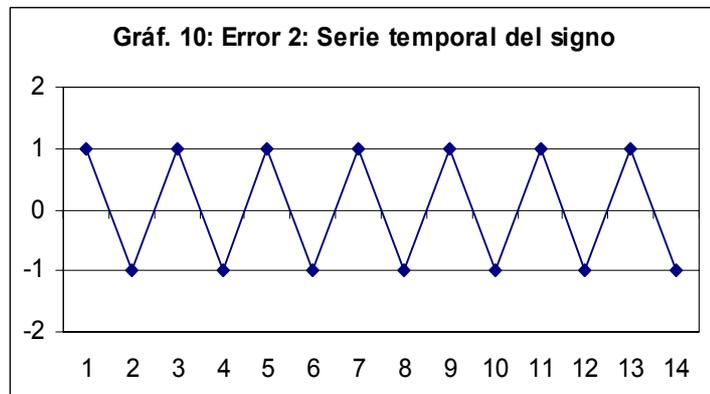
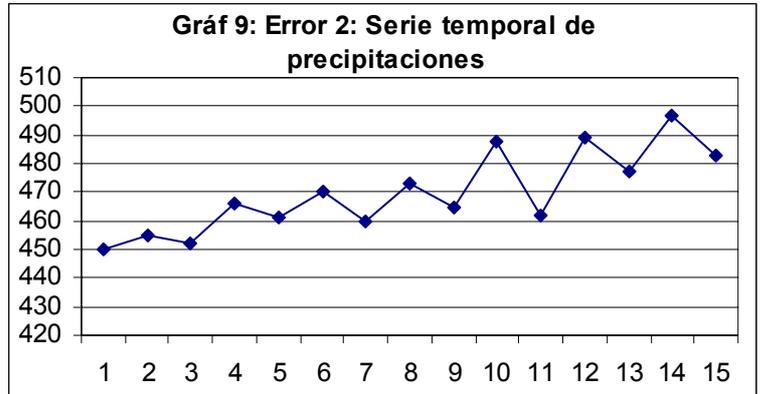
Precipitación	Signo
555	
567	1
581	1
588	1
591	1
600	1
605	1
606	1
450	-1
433	-1
423	-1
421	-1
418	-1
407	-1
399	-1
Contaje +1	7
Contaje -1	7

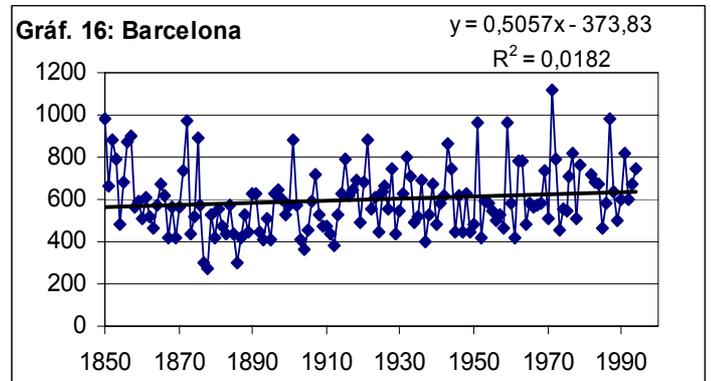
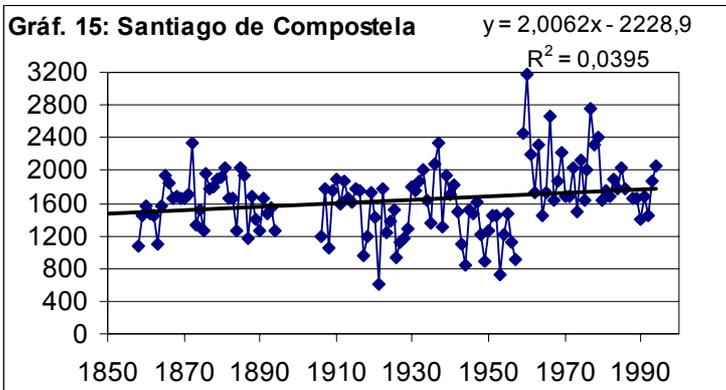
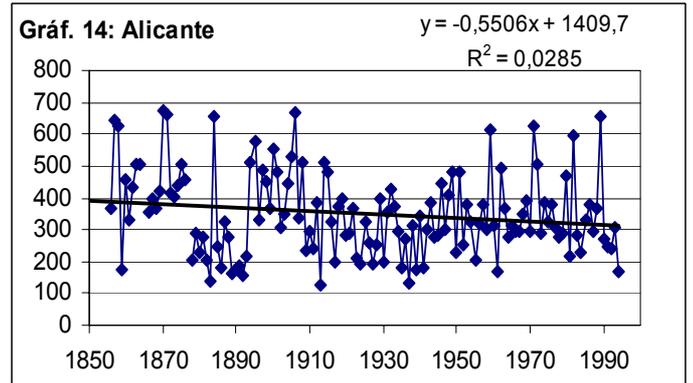
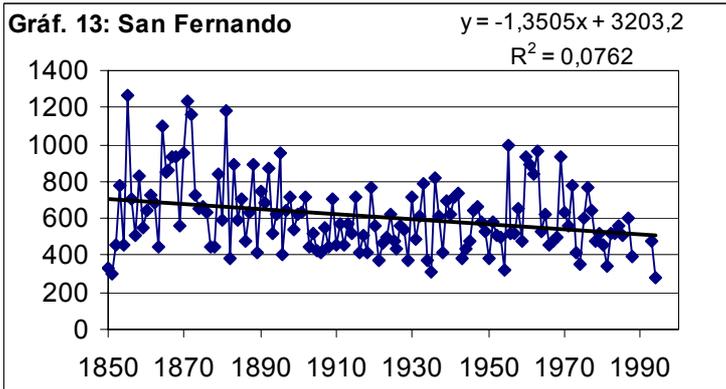
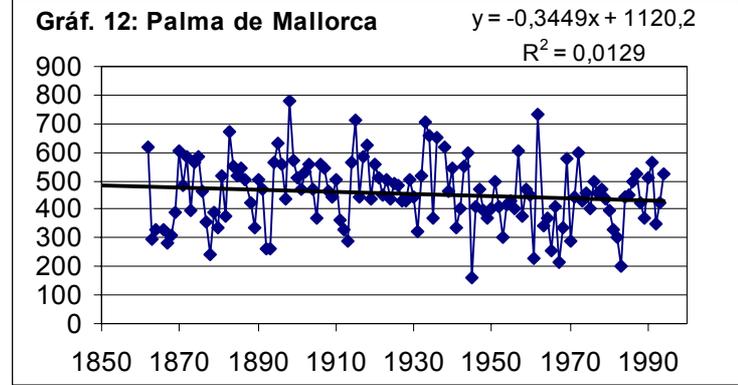
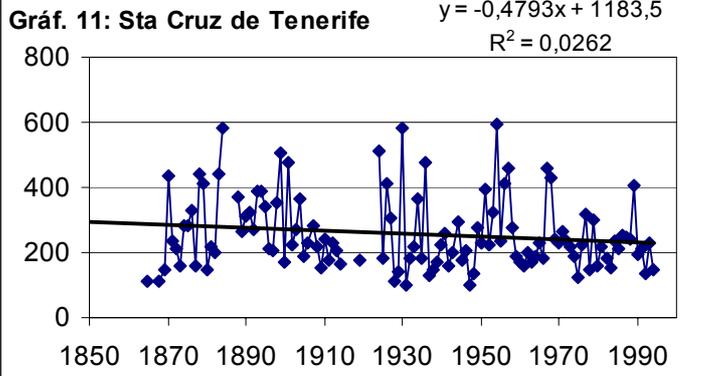




Con el fin de obviar igualmente otro posible inconveniente, el de que la serie vaya cambiando de signo prácticamente en cada año, pero que el conjunto presente determinada tendencia (tabla 2 y gráficos 9 y 10: Error 2), que invalidaría nuestra hipótesis inicial de aleatoriedad temporal, se ofrecen igualmente los gráficos de algunas de las series, incluyendo líneas de tendencia (gráficos 11 a 16).

TABLA 2	
Precipitación	Signo
450	
455	1
452	-1
466	1
461	-1
470	1
460	-1
473	1
465	-1
488	1
462	-1
489	1
477	-1
497	1
483	-1
Contaje +1	7
Contaje -1	7





En los gráficos 11 a 16 puede verse el valor de la línea de tendencia temporal, con expresión numérica de su correspondiente coeficiente de determinación, que en todos los casos resulta muy bajo. Realizados los tests oportunos se puso de manifiesto que en ningún caso la línea de tendencia es estadísticamente significativa., por lo que podemos descartar que exista una determinada deriva: la variación podría interpretarse como debida exclusivamente a procesos de azar.

Tras estas premisas se procedió a aplicar el test de la χ^2 , por su potencia, a los datos de signos positivos respecto de los totales posibles. Para demostrar la aleatoriedad espacial se ha efectuado un agrupamiento desde único, esto es, en un solo grupo, hasta la total desagregación. También se han realizado los grupos atendiendo a criterios varios: geográficos y de proximidad, hasta los puramente aleatorios.

En detalle, los agrupamientos geográficos han consistido en el uso de una malla de coordenadas geográficas de latitud y longitud de tal forma que se estableció los grupos en cuadrículas de 2 por 2 grados. También se realizó otra clasificación con una retícula de 4 grados por 4 grados. Igualmente se realizó una agrupación según el vecino más próximo: para ello se calculó la distancia entre todas las estaciones, aplicando la fórmula del coseno de Bessel, en la suposición de que la Tierra es una esfera, y se puede hallar la distancia entre dos puntos de la misma a partir de las coordenadas de longitud y latitud. Debe quedar claro, por lo tanto, que se obvió el relieve terrestre, la tercera coordenada geográfica que es la altitud. A este respecto es menester que se comente que el número de parejas que se establecen de vecino más próximo no es de 25 (la mitad de las 50 estaciones con las que se ha trabajado) sino mayor (34), porque mientras que para la estación A la más cercana puede ser B, no se puede afirmar necesariamente la recíproca, esto es que la estación más cercana de B sea A, sino que pudiera ser C.

Otro tipo de agrupamiento geográfico se ha realizado tras clasificación climática. Se ha utilizado la de Köppen aplicada a España por los hermanos López Gómez (1956), si bien basada en las clases que resultan de su aplicación a los datos del treintenio 1931-60, según los datos aportados por el Anuario Estadístico (1976). Dado que no se disponía de los datos de temperatura para todas las estaciones pluviométricas, se ha asumido que Bilbao y Oviedo tendrían la misma clasificación climática que Gijón, Lérida que Huesca y las tres Cazorlas (ICONA, Nava de San Pedro y Hornico) que Granada. Mediante la clasificación climática de Köppen también se ha tomado 4 tipos diferentes de agrupamientos: el primero con sólo dos grupos (climas **B** y **C**), en atención a las letras mayúsculas que definen su clima; el segundo con tantas clases como se forman al utilizar las dos primeras "letras"¹ de la clasificación (en total 5 grupos que corresponden a: **BS**, **BW**, **Cf**, **Cfs** y **Cs**); el tercero con 9 clases definidas a partir de la aplicación de las tres primeras "letras": **BSh**, **BSj**, **BWh**, **Cfa**, **Cfb**, **Cfsa**, **Cfsb**, **Csa** y **Csb**. Finalmente también se agrupó las estaciones por todas las clases posibles (19 en total), al agregar los matices térmicos (subíndices **1**, **2** y **3** a las letras **a** y **b**) y de régimen pluviométrico (**s'**, **s''**, **x**).

No contentos con estos agrupamientos, todavía se realizó varios ensayos de agrupamiento por simulación de grupos aleatorios, utilizando la distribución uniforme. Este procedimiento se repitió para 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 clases.

En definitiva: se ha procedido a agrupar las distintas estaciones de acuerdo con diferentes criterios, arrojando un variable número de grupos en cada caso, que a continuación se especifica en la TABLA 3.

¹ Las "letras" a las que nos referimos son a veces compuestas como en el caso de la **fs**. Este es el motivo de consignarlas entre comillas.

TABLA 3

Tipo clasificación	Número de grupos	Tipo clasificación	Número de grupos
Todos agregados	1	Simulación 2 grupos	2
Malla 2º	19	Simulación 3 grupos	3
Malla 4º	6	Simulación 4 grupos	4
Vecindad	34	Simulación 5 grupos	5
Todos desagregados	50	Simulación 6 grupos	6
Clas. Climát. 1 letra	2	Simulación 7 grupos	7
Clas. Climát. 2 letras	5	Simulación 8 grupos	8
Clas. Climát. 3 letras	9	Simulación 9 grupos	9
Clas. Climát. Total	19	Simulación 10 grupos	10

A modo de ejemplo del trabajo realizado se incluye el cálculo de la χ^2 para el caso de todas las estaciones desagregadas:

Todas las estaciones desagregadas			
Estaciones	+1	Total	χ^2
Albacete	55	108	0,018518519
Alicante	67	134	0
Almería	33	70	0,114285714
Avila	32	64	0
Badajoz	61	113	0,35840708
Barcelona	75	141	0,287234043
Bilbao	50	97	0,046391753
Burgos	60	124	0,064516129
Cáceres	42	86	0,023255814
Cádiz	21	39	0,115384615
Cazorla Hornico	39	82	0,097560976
Cazorla ICONA	43	92	0,195652174
Cazorla Nava de San Pedro	41	72	0,694444444
Ciudad Real	45	104	0,942307692
Córdoba	47	101	0,242574257
Coruña	60	113	0,216814159
Cuenca	38	76	0
Gijón	31	65	0,069230769
Granada	45	85	0,147058824
Huelva	46	83	0,487951807
Huesca	60	132	0,545454545
Izaña	39	78	0
Jaén	50	101	0,004950495
León	36	76	0,105263158
Lérida	40	69	0,876811594
Logroño	37	80	0,225
Madrid	71	139	0,032374101
Mahón	54	100	0,32
Málaga	46	87	0,143678161
Murcia	63	124	0,016129032

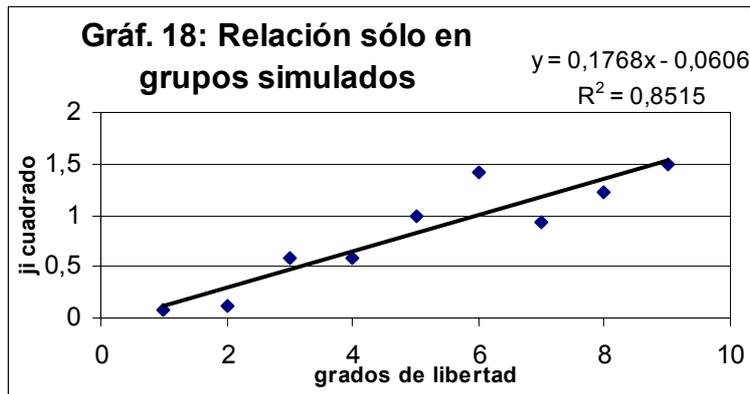
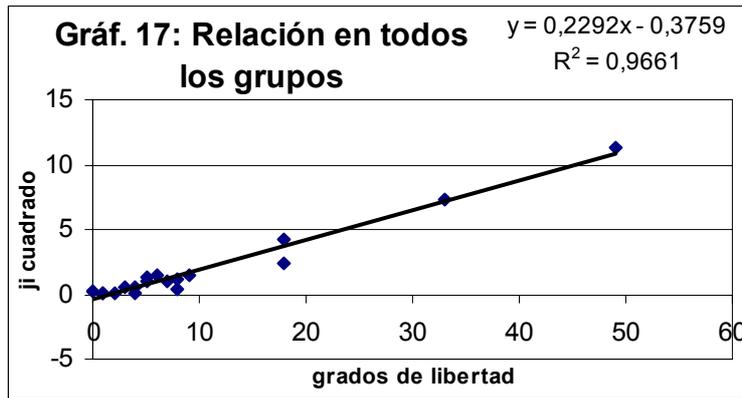
Oviedo	62	110	0,890909091
Palma de Mallorca	62	130	0,138461538
Pamplona	50	100	0
Pontevedra	38	65	0,930769231
Salamanca	55	105	0,119047619
San Fernando	80	161	0,00310559
San Sebastián	53	114	0,280701754
Santa Cruz de Tenerife	56	112	0
Santander	43	82	0,097560976
Santiago	61	120	0,016666667
Segovia	35	71	0,007042254
Sevilla	55	110	0
Soria	68	128	0,25
Teruel	38	72	0,111111111
Toledo	40	79	0,006329114
Tortosa	56	114	0,01754386
Valencia	58	128	0,5625
Valladolid	65	128	0,015625
Zamora	35	66	0,121212121
Zaragoza	52	122	1,327868852
		Suma	11,28770463
		Contaje	50
		Grados lib	49

El resultado de la aplicación de la prueba de la χ^2 resumida en un cuadro para los grados de libertad es la siguiente (TABLA 4).

TABLA 4

Tipo clasificación	grupos	χ^2	Tipo clasificación	grupos	χ^2
Todos agregados	1	0,07915994	Simulación 2 grupos	2	0,07128008
Malla 2°	19	4,22798773	Simulación 3 grupos	3	0,11612998
Malla 4°	6	1,36277118	Simulación 4 grupos	4	0,57628678
Vecindad	34	7,27880792	Simulación 5 grupos	5	0,57544679
Todos desagregados	50	11,2877046	Simulación 6 grupos	6	0,98886601
Clas. Climát. 1 letra	2	0,0909096	Simulación 7 grupos	7	1,42033931
Clas. Climát. 2 letras	5	0,01823186	Simulación 8 grupos	8	0,93864198
Clas. Climát. 3 letras	9	0,34184892	Simulación 9 grupos	9	1,22888049
Clas. Climát. Total	19	2,44155109	Simulación 10 grupos	10	1,4970093

Finalmente quisiéramos poner de manifiesto que la relación entre los grados de libertad (número de grupos menos 1) y el valor de la χ^2 (gráfico 17) muestra una correlación lineal por lo que existe proporcionalidad entre ambas variables. El valor del coeficiente de determinación (R^2) es muy alto, y apenas desciende si se agregan los grupos de simulación (gráfico 18). Esto supone que tanto si los grupos están efectuados "geográficamente" como si es el azar el que los delimita, la proporcionalidad se mantiene. Creemos que ello es buena prueba de la aleatoriedad espacial de las variaciones temporales de la pluviometría, *quod erat demonstrandum*.



BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALMARZA MATA, C., LÓPEZ DÍAZ, J.A. y FLORES HERRÁEZ, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España*. INM, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 318 págs.
- HAININGS, R. (1990): *Spatial data analysis in the social and environmental sciences*, Cambridge University Press, 409 pp.
- KRETZ, R. (1969): *On the spatial distribution of crystals in rocks*, *Lithos, An international Journal of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, Universitetsforlaget, Oslo, vol 2, nº 1, págs 39-65.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. y J. (1959): *El clima de España según la clasificación de Köppen*. Estudios Geográficos, Madrid, C.S.I.C., págs 167-88
- OJEDA MARTÍN, M^a R. y SANZ DONAIRE, J.J. (2005): *¿Se acentúan ahora las catástrofes climáticas en España?*, Observatorio Medioambiental, Universidad Complutense, Madrid, nº 8, pp 153-173.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a E. Y SANZ DONAIRE, J.J. (2000): *Distribuciones estadísticas ajustadas a las series temporales de totales anuales de precipitación española: aspectos geográficos*. Zaragoza, *Geographicalia*, nº 38, págs 13-31.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a E. Y SANZ DONAIRE, J.J. (2001): *Aspectos geográficos de las distribuciones estadísticas ajustadas a las series temporales de totales anuales de precipitación española*, Almería, *Nimbus*, nº 7-8, págs 135-159.
- SAMPER CALVETE, F.J. Y CARRERA RAMÍREZ, J. (1996): *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*, Barcelona, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, 2ª edición, 484 pp.
- SANZ DONAIRE, J.J. (1999 b): *Variabilidad natural y antropoinducida en el "cambio climático": el caso de la pluviometría de Soria*. En RASO NADAL, J. M. Y MARTÍN VIDE, J. (edit.): *La climatología española en los albores del siglo XXI*,

- Barcelona, Publicaciones de la AEC (Asociación Española de Climatología), Serie A, nº 1, págs 491-500.
- (2001): *Cambios aleatorios de precipitación española en la fase instrumental* en PÉREZ CUEVA, A.J., LÓPEZ BAEZA, E. Y TAMAYO CARMONA, J. (edit.): El tiempo del clima, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (A.E.C.) Serie A, nº 2, Valencia, pp 219-233.
 - (2003): *Aleatoriedad de las series instrumentales de precipitación en España: otro caso en el que no se detecta el "cambio climático*. Estudios Geográficos, Madrid, CSIC, nº 250, tomo 74, págs 63-86.
 - (2002 a): *Las precipitaciones mensuales madrileñas y el cambio climático*, Boletín de la Real Sociedad Geográfica, tomo 137-38, Madrid, Homenaje a los profesores Antonio López Gómez y José María Sanz García, págs 311-323.
 - (2002 b): *Un cambio climático que no existe: las precipitaciones en Madrid*, págs. 443-457. En Anales de Geografía de la Universidad Complutense, Madrid, Homenaje a José María Sanz García, 530 págs.
 - (2003): *Arguments in Favour of Rainfall Randomness over Egypt*, Cairo, Bulletin of the Egyptian Geographical Society, vol 76, págs 95-119.
 - (2004): *¿Hay tendencia en las precipitaciones de algunos observatorios mexicanos?*, págs. 347-360. En: Aportaciones Geográficas en Homenaje al Prof. A. Higuera Arnal, Zaragoza, Dpto de Geografía y Ordenación del Territorio, 413 págs.
 - (2005): *La problemática de las precipitaciones en el marco del Cambio Climático*, en SANZ DONAIRE, J.J. (coord.): Ciclo de conferencias sobre el Cambio Climático, Madrid, Real Sociedad Geográfica y Foro del Agua, 35 pp + un CD con el texto y gráfico de las ponencias.
- SANZ DONAIRE, J.J. y JIMÉNEZ BLASCO, B. (2003): *¿Mayor variabilidad reciente de las precipitaciones en España? Otro "cambio climático" que no existe*. Almería, Nimbus, nº 11-12, págs 29-46.
- (en prensa): *Pautas espaciales en la variabilidad de las precipitaciones españolas*, Madrid, *Estudios Geográficos*, 20 págs.
- UNWIN, D. (1981): *Introductory Spatial Analysis*, Londres, Methuen, 212 pp.