

## DELIMITACIÓN DE REGIONES PLUVIOMÉTRICAS EN EL NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

POR

DOMINGO F. RASILLA ÁLVAREZ

### *Introducción*

Al igual que en otras ciencias, el desarrollo de la Climatología está estrechamente ligado a la búsqueda de una organización interna lógica y coherente, de una racionalización de los conceptos investigados (Olivier, 1991). Las clasificaciones climáticas son, en consecuencia, una constante, y las regionalizaciones una de sus facetas más frecuentes, puesto que, en último término, clarifican la relación entre las condiciones y la dinámica atmosférica, y pueden servir como base para ulteriores análisis al igual que pasa para la previsión meteorológica, la gestión de recursos hídricos, etc.

Los métodos empleados han sido numerosos, según la utilidad que se pretende a estas clasificaciones, y su grado de complejidad ha ido aumentando, sobre todo a partir de la introducción de las técnicas de análisis multivariado. Éstas estudian de forma simultánea «la posición de un individuo en un espacio multidimensional, caracterizado por un conjunto de variables que definen una región climática» (Cañada y Galán, 1992). Su uso, favorecido por el desarrollo de la informática, fue considerado un avance al eliminar la subjetividad inherente a las clasifica-

---

Domingo F. Rasilla Álvarez. Departamento de Geografía. Penn State University, USA.

Estudios Geográficos  
Tomo LIX, n.º 232, julio-septiembre

ciones manuales y permitir el manejo de una cantidad mucho mayor de información (Creus, 1983; Muñoz, 1980). Posteriores investigaciones han demostrado, sin embargo, que también están sometidas a decisiones subjetivas, ocasionalmente arbitrarias, que pueden modificar sustancialmente unos resultados que son, a veces, susceptibles de crítica. Entre los más empleados se encuentra la combinación de una técnica de reducción de los datos, el Análisis en Componentes Principales (ACP), con otra de clasificación, el Cluster Analysis, para definir los grupos finales.

La precipitación es uno de los elementos climáticos más apropiados para este tipo de análisis, a causa de su variabilidad espacial. En la Península Ibérica es utilizada como uno de los principales criterios para distinguir tipos de clima, bien las cantidades anuales (Mounier, 1979; Alonso, 1982) o la ausencia de meses con menos de 30 mm (Lautensach, 1967). Pero en la franja septentrional el contraste entre los climas mediterráneos y oceánicos, nítido a escala continental (Bertrand, 1972), se desvanece a nivel regional por transiciones complejas que sólo salen a la luz mediante un análisis detallado. Las diferencias entre ambos ámbitos, no sólo en la cuantía sino también en el ritmo de las precipitaciones, han sido resaltadas por diversos autores (Muñoz, 1980; Mounier, 1979; Fernández Mills, 1995). Dos aspectos han centrado la atención:

— La clasificación del área cantábrica, en especial su sector occidental, pues ha sido incluido a veces junto con la costa septentrional de Galicia en una misma unidad (López Gómez, 1959), y otras englobado en una zona central que abarcaría también Cantabria (Lautensach, 1967), aislando Guipúzcoa como un área particular.

— Los límites de la influencia oceánica sobre la cabecera del Ebro (Ruiz Urrestarazu, 1982); Ortega, 1992; Pejenaute, 1992).

Los objetivos fundamentales de este trabajo son analizar los mecanismos que controlan el régimen pluviométrico mensual en el N. de la Península Ibérica y delimitar zonas que manifiestan un comportamiento coherente respecto a esos mecanismos. Adicionalmente se describe una aplicación de los dos procedimientos multivariados antes citados, haciendo particular énfasis en aquellos aspectos sometidos a mayor polémica, ya que rara vez se razonan las decisiones subjetivas que toma el investigador (Yarnal, 1993). Para evitar confusiones, a causa de

su variada terminología, algunos de los términos empleados mantienen su denominación original en inglés, si están aceptados internacionalmente y no así su traducción al castellano.

### *Datos*

Este trabajo analiza los valores mensuales de precipitación de 219 observaciones pluviométricos del N de la Península Ibérica entre 1973 y 1992, pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Este período es el que combinó el mayor número de observatorios funcionando de forma continua y simultánea, y es lo suficientemente largo como para no estar excesivamente influenciado por eventos anómalos. Los criterios de selección de los observatorios fueron lagunas no superiores al 5% de la serie completa, homogeneidad interna y distribución espacial conveniente. Se procuró que esta última fuese lo más regular posible, puesto que si una zona goza de una mayor densidad que el resto, la cantidad de varianza que representarían los fenómenos dinámicos sobre ella aparecen sobrevalorados, y los componentes asociados tenderán a ser anormalmente altos (Karl, 1982). No obstante, este propósito no pudo lograrse siempre, particularmente en áreas de montaña de la mitad occidental. Las lagunas encontradas se rellenaron interpolando valores de observatorios próximos, siempre que el umbral mínimo de correlación superase el valor de 0,8 (Fernández García, 1995).

### *Análisis en componentes principales*

El Análisis en Componentes Principales, concebido originalmente por Pearson (1901) y desarrollado más tarde por Hotelling (1933), es una de las técnicas multivariadas favoritas en Climatología (Wilks, 1995). Su objetivo es la transformación de un conjunto de variables intercorrelacionadas en otro más reducido y ortogonal, que conserva, sin embargo, gran parte de la información original. Además, si la matriz está organizada en modo S (es decir, los observatorios son las variables mientras cada uno de los casos es el valor de un único parámetro —precipitación— medido durante una entidad temporal —año, mes, día, etc.—) podemos expresar de manera simultánea las características

espaciales y la evolución temporal de ese parámetro mediante dos matrices, la de eigenvectores y la de componentes principales (White *et al.*, 1991).

Pese a la amplia literatura existente, una considerable polémica existe en torno a diversos aspectos de esa técnica; el primero hace referencia a la elección de la matriz de dispersión. Si las variables están medidas en la misma unidad (como en este caso, en milímetros) es posible utilizar la de covarianza, que presenta ciertas ventajas sobre la de correlaciones (Wilmott, 1978). Sin embargo, al proporcionar más peso a las de mayor varianza, puede producir distorsiones si hay grandes diferencias numéricas en la muestra original (Dunteman, 1989), como ocurre frecuentemente con la precipitación; una solución sería transformar los valores originales en anomalías, pero esto elimina el ciclo anual, aspecto relevante de la diferenciación regional. A causa de la distribución no normal de la precipitación, dos opciones pueden ser consideradas si se desea extraer los componentes a partir de una matriz de correlación: la primera, en caso de optar por el coeficiente de Pearson, es transformar las variables originales calculando la raíz cuadrada o cúbica del valor correspondiente; esto «normaliza» la distribución reduciendo el efecto de los valores extremos. Otra solución, adoptada en este trabajo, es usar el coeficiente de correlación de Spearman, un coeficiente no paramétrico que proporciona una medida de la asociación lineal entre los rangos de dos conjuntos de variables (Dowdy y Wearden, 1991), y que no es sensible a la distribución de la muestra. Ambas matrices fueron comparadas para analizar cómo habrían variado los resultados, pero éstos no difirieron sensiblemente.

Otro de los aspectos sometidos a subjetividad es el número de componentes a mantener para su posterior rotación. Esto es especialmente importante puesto que el resultado final cambia según el número de componentes seleccionados, ya que el valor de los *loadings* de la matriz rotada (correlaciones entre los observatorios y esos componentes principales) dependen de ese número: el ACP extrae tantos componentes como variables originales, pero sólo unos pocos, que acumulan la mayor parte de la varianza total, reflejan procesos reales (señal climática) mientras el resto no se distingue de los generados al azar. A la hora de determinar el número «correcto» diversos métodos, y con diferente grado de complicación, pueden ser utilizados; los más frecuentes y su aplicación a análisis climáticos han sido revisados por Richman (1985).



Los más sencillos utilizan un umbral fijo, como la eliminación de los componentes con un eigenvalue menor de 1 (Kaiser, 1959), pues aportan menos información que cualquiera de las variables originales; una modificación sugiere reducir el umbral a 0,7; otra selecciona aquellos que en conjunto explican el 80% de la varianza original (Jolliffe, 1986). Estos criterios parecen inapropiados para este trabajo, ya que el número de componentes se aproximaría a 10, cantidad reducida en comparación con la muestra original pero lejos de óptimo.

Otros métodos son gráficos (figura 1); de frecuente uso por su sencillez es el Scree test (Catell, 1966), que implica la representación del valor de los eigenvalues (o de su porcentaje de varianza). El punto de separación entre los que poseen una «señal climática» de los que re-

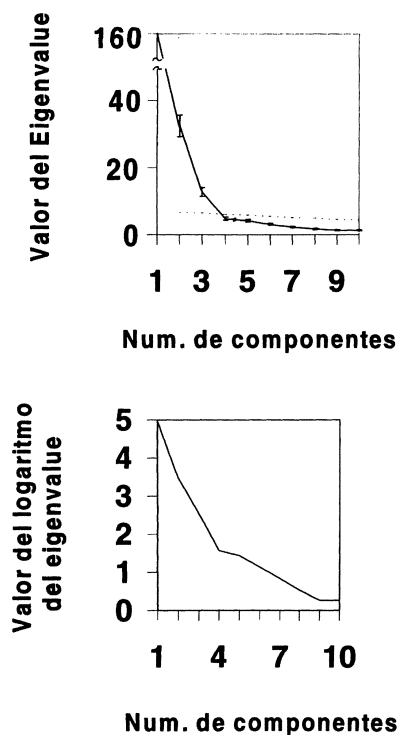


FIGURA 1.—a) Scree test con el valor de cada eigenvalue, el valor de la regla *N* de Preisendorfer (línea discontinua), las barras de error estándar construidas según el test de separación de North, y b) el logaritmo del eigenvalue (LEV).

presentan «ruido» se refleja en un cambio en la pendiente de la recta. Una variante es la representación del logaritmo del eigenvalue (LEV), basándose en la hipótesis que sus magnitudes deberían decrecer exponencialmente al aumentar el número de componentes, siendo los descartables aquellos que forman una línea recta a partir del punto de ruptura (Craddock y Flood, 1969).

Finalmente, un tercer tipo de técnicas, muy populares en los últimos años, están basadas en reglas de muestreo. La regla N (Overland y Preisendorfer, 1982) supone la elaboración de 100 matrices aleatorias del mismo tamaño que la original y la extracción de sus respectivos eigenvalues. Si el valor de uno de los originales supera el del eigenvalue aleatorio correspondiente n.º 95, entonces ese componente puede ser distinguido con una probabilidad del 95%. El test de separación de los eigenvalues (North *et al.*, 1982) considera que los componentes principales están basados en el análisis de un número finito de muestras (N) de un conjunto de datos tomados en un momento concreto de su evolución temporal. La independencia estadística de cada eigenvalue se verifica comparando su error estándar con el del eigenvalue posterior, siendo este error  $(2/N)^{0.5}$ . Si su valor mínimo es mayor que el máximo del siguiente, entonces ese componente principal es parte de un «multiplet» degenerado y es posible que con una muestra diferente del mismo conjunto de datos la estructura de los componentes tendría una forma diferente.

En nuestro caso el número seleccionado fue 3, cantidad que aparece con claridad en los tests gráficos, y que al mismo tiempo satisfizo los tests numéricos citados. Estos componentes, además, acumularon el 79,3% de la varianza total, con lo cual indirectamente también se cumplió uno de los primeros criterios mencionados.

El aspecto que ha suscitado mayor controversia es la necesidad o no de rotación de los componentes (Legates, 1993; Richman, 1993). En contra se han pronunciado autores que arguyen que elimina las propiedades de máxima varianza y ortogonalidad (Daultrey, 1976; Joliffe, 1986). Sin embargo, en algunos casos los componentes no rotados exhiben ciertas características que reducen su capacidad para aislar ámbitos espaciales, proporcionando invariablemente unas configuraciones conocidas como «Buell patterns» (1975, 1979), que se manifiestan como una secuencia precisa de áreas positivas y negativas (+, +-, +/-, +-+ y +/+). Estas configuraciones son producto de la forma de la región

analizada (muy frecuentes si es aproximadamente rectangular), y en parte también por la necesidad de mantener la ortogonalidad (Easterling, 1990; Richman, 1985). El problema puede ser fácilmente comprendido teniendo en cuenta que los márgenes de un área tienen menor número de puntos que el centro; a causa de la necesidad de seleccionar los de máxima varianza y al mismo tiempo mantener la ortogonalidad, el ACP incluye siempre en el primer componente los centrales, que representan no sólo la varianza presente en esos puntos, sino también la de los que los rodean. El segundo, que debe ser ortogonal al primero, maximiza la varianza residual, por lo que tiende a representar los situados fuera del centro, normalmente hacia los extremos. Como el tercero maximiza la varianza residual no explicada por los anteriores, pero debe ser ortogonal al segundo, se sitúa en una localización opuesta, y así sucesivamente.

Además, las nuevas variables no son realmente apropiadas para regionalizar, ya que la realidad demuestra que a nivel espacial la independencia proporcionada por la ortogonalidad no es una cualidad sino un inconveniente, pues en la distribución de variables climáticas no son frecuentes límites rígidos, y observatorios de vertientes antagónicas, pero próximos entre sí, suelen gozar de cierto grado de similitud que no es tenida en cuenta por las soluciones no rotadas, convirtiéndolas en físicamente irreales (Richman, 1981). Por ello, es útil cuando el objetivo es la reducción de la dimensionalidad de los datos, o cuando los componentes obtenidos son empleados en subsecuentes análisis de naturaleza exploratoria, por ejemplo, para regresión, etc. (Dunteman, 1989).

Otros autores decididamente apoyan la rotación, siguiendo tres criterios (Kaiser, 1959). El primero es el de parsimonia, elaborando un modelo lo más simple posible que conserve las características de los datos originales; el segundo es el de invarianza, que establece que este modelo también emergerá cuando hayamos efectuado la rotación. El tercero es el de la búsqueda de una «estructura simple» (Thurstone, 1947), que nos ayuda a determinar los mecanismos subyacentes en los datos. Al rotar se obliga a que ciertas variables alcancen valores muy altos en alguno de los ejes originales y muy bajas en otros, disponiéndose lo más cerca posible del hiperplano de cada uno de los componentes principales; desde el punto de vista climático esto significa identificar y aislar la señal en espacios concretos. La manera más fácil para verificar el grado de es-

estructura simple conseguida es la inspección de las proyecciones de las variables sobre los ejes (Richman, 1985); los límites aceptables serían una banda de entre  $\pm 0,05$  y  $\pm 0,20$  (en función del número de observaciones), a cada lado del eje. La rotación es necesaria cuando lo que se busca es la delimitación espacial de áreas homogéneas, no sólo la simple reducción de los datos, y puede convertirse en un buen método para definir áreas homogéneas por sí solo, y por ello una alternativa a otras técnicas de clasificación (Joliffe, 1986).

Los 3 componentes seleccionados fueron sometidos a las rotaciones disponibles en los dos paquetes estadísticos SAS (1985) y SPSS (1985): ortogonales como VARIMAX (la de más frecuente uso) y oblicuas como las OBLIMIN (menos usada, aunque la más frecuente de su tipo), PROMAX y HARRISKAISER Case II IC y Case II B<sup>T</sup>B. Para esta última Richman (1985) recomienda una solución proporcional si los datos son muy complejos y se aprecian conjuntos yuxtapuestos. Para obtenerla, la diagonal  $r \times r$  de la matriz de los eigenvectores es elevada a un valor que oscila entre 0 y 1; siguiendo sus recomendaciones dicho valor fue establecido en 0,5. También recomienda que en el caso de las rotaciones PROMAX las opciones de elevación sean  $k = 2$  y  $k = 4$ . La diferencia entre estos dos grandes familias de rotaciones es que en las primeras los componentes permanecen ortogonales, mientras en las oblicuas no mantienen esa condición, identificando más correctamente los grupos de variables.

El grado de éxito en la obtención de la «simple estructura» fue analizado por medio de gráficos pareados y la representación cartográfica de los *loadings* (figuras 2 y 3); los mapas también permiten analizar su significado climático (figuras 4 a 6), siendo la isolínea de 0,4 la más apropiada como límite de los significativos (White *et al.*, 1991; Yarnal, 1993). A su vez, los *scores* o puntuaciones de cada componente en cada uno de los casos (meses) nos muestran su evolución a lo largo del período analizado; para mitigar la variabilidad mensual y eliminar el ciclo estacional las series fueron suavizadas con una media móvil de 13 meses, y los valores máximos truncados para resaltar las oscilaciones, por lo que algunos valores extremos no son perceptibles en toda su intensidad. Como los *scores* tienen media 0 y desviación estándar 1, también podemos caracterizar el régimen pluviométrico de los ámbitos espaciales definidos, suponiendo que las precipitaciones se distribuyen de forma regular a lo largo de todo el año.

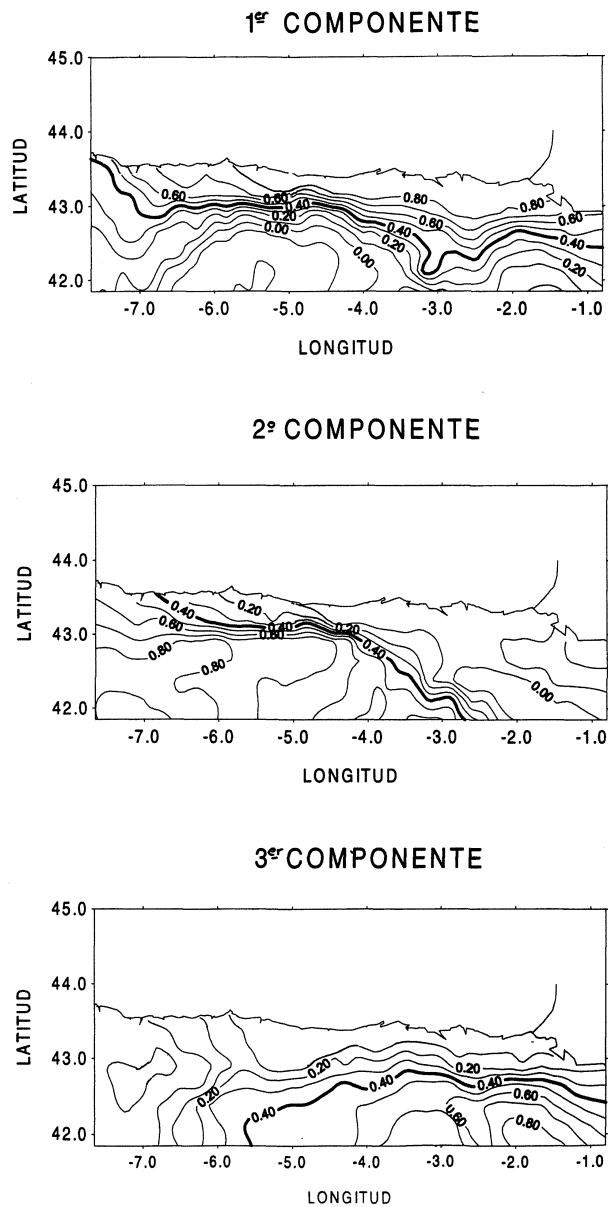


FIGURA 2.—Gráficos pareados con la distribución de los observatorios en las soluciones no rotada, VARIMAX y OBLIMIN.

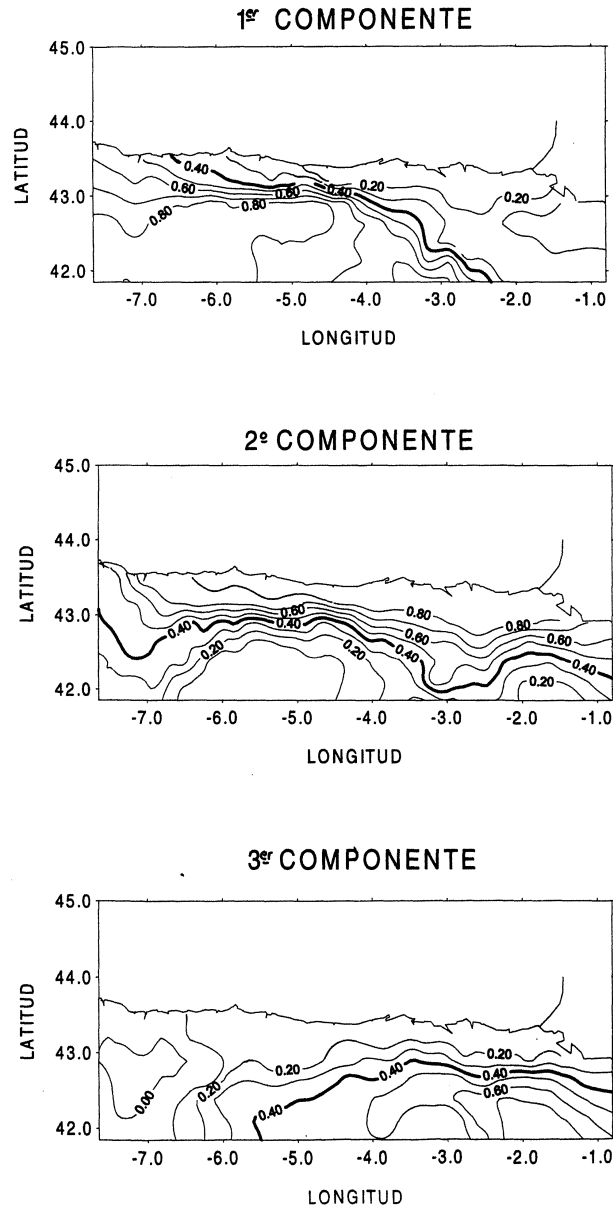


FIGURA 3.—Gráficos pareados con la distribución de los observatorios en las soluciones PROMAX (2), PROMAX (4), HARRIS-KAISER BB y HARRIS KAISER IC.

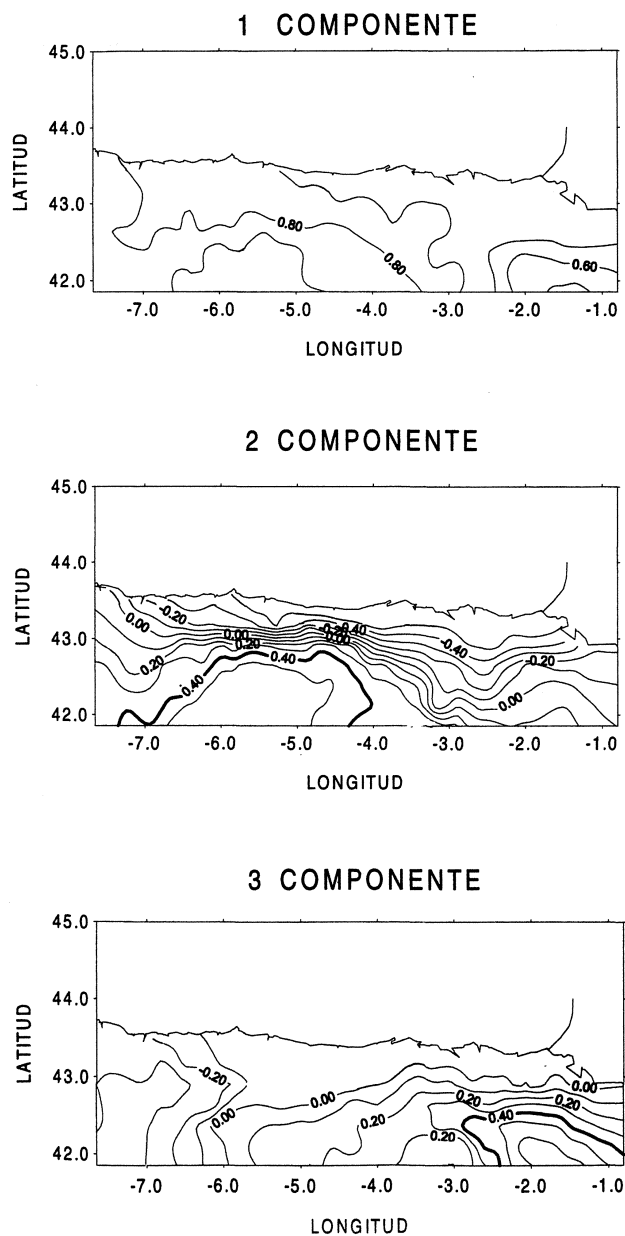


FIGURA 4.—Distribución espacial de los loadings en la solución no rotada.

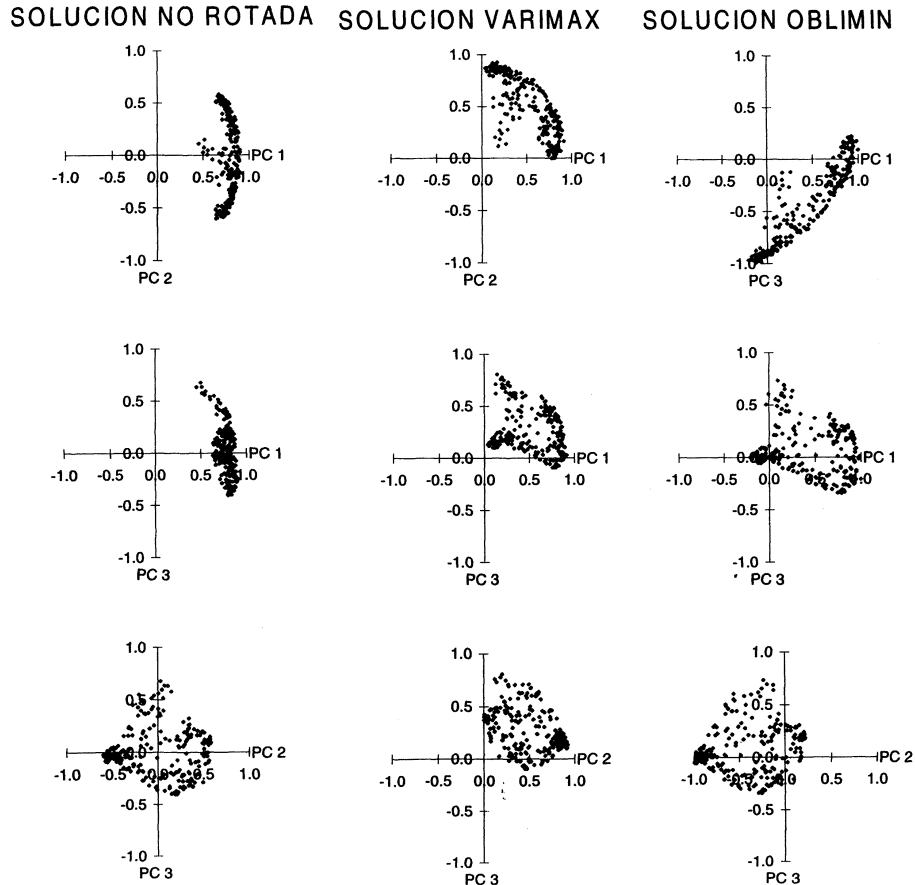


FIGURA 5.—Distribución espacial de los loadings en la solución VARIMAX.

En el caso de los componentes no rotados no se observa una estructura simple en la disposición de los loadings sobre los ejes, sino configuraciones ya mostradas en otros trabajos (Bonell y Summer, 1992); a pesar de la distorsión que impone el relieve, las clásicas configuraciones de Buell también son visibles en los mapas. El primer componente muestra valores positivos altos, pero con poca variabilidad espacial, al describir la principal fuente de varianza presente en los datos: el ciclo estacional, más lluvioso en invierno que en verano. En consecuencia, re-



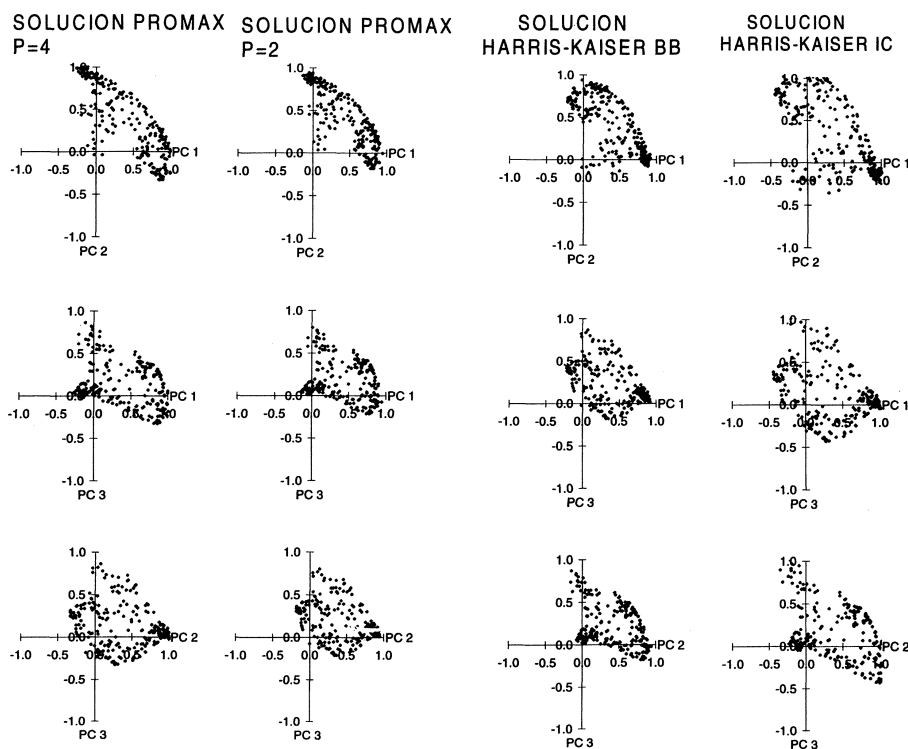


FIGURA 6.—Distribución espacial de los loadings en la solución HARRIS-KAISER BB.

salta qué observatorios reproducen con más fidelidad el citado régimen, siendo sus valores más bajos en el Valle del Ebro, donde las precipitaciones son mayoritariamente equinocciales. El segundo componente sí podría reflejar una dimensión subyacente en los datos, oponiendo el Cantábrico al Valle del Duero, al igual que el tercero, que opone los sectores orientales y occidentales, pero en ambos casos los gradientes espaciales son laxos.

La solución VARIMAX muestra mejores condiciones, con áreas bien delimitadas por altas puntuaciones y gradientes más intensos, coincidentes con determinados accidentes geográficos, todo lo cual ayuda a identificar zonas con mayor claridad. Así, por ejemplo, la representación espacial del primer componente opone el Valle del Duero y el Cantá-

brico-Valle del Ebro, siguiendo la isolínea de 0,4 la Cordillera Cantábrica y el Sistema Ibérico. Sin embargo, y dado que la transformación es forzosamente ortogonal, la delimitación de regiones es difícil; este efecto negativo se observa también al representar los loadings, la delimitación de regiones es difícil; este efecto negativo se observa también al representar los loadings en los ejes de coordenadas, en los que no percibe la citada estructura simple.

La inspección de los gráficos de las soluciones oblicuas muestra que, a diferencia de las anteriores, muchos observatorios tendieron a situarse cerca de los hiperplanos y en algún caso próximos a la intersección de los ejes (componentes 1 y 3, y 2 y 3); otros autores han encontrado que las rotaciones oblicuas proporcionan en conjunto las soluciones más estables desde el punto de vista estadístico (White, 1991) y las más aproximadas a la realidad climática que se analiza (Summer y Bonel, 1992). Entre las diversas posibilidades destaca la solución Harris-Kaiser B<sup>T</sup>B, ya que desde el punto de vista espacial las áreas definidas gozan de valores contrastados y límites geográficamente consistentes, pese a lo cual la nube de puntos se difumina en el cuadrante, sugiriendo la presencia de variables complejas.

Los máximos valores del primer componente se localizan en el Cantábrico Central y Oriental, mientras la isolínea de 0,4 discurre desde el Occidente de Asturias hasta las montañas que separan la Navarra Media del Valle del Ebro. Los valores más altos se alcanzan en Cantabria, no tanto a causa de la cuantía de las precipitaciones como de la aportación que otro tipo de circulaciones hacen al régimen pluviométrico en Asturias y en el País Vasco: circulaciones del W en ambos sectores en invierno y precipitaciones tormentosas estivales en el vértice del Golfo de Vizcaya (Uriarte, 1983). De acuerdo con ello, este componente está asociado fundamentalmente a situaciones del N, NW y NE, las más activas en esta región (Mounier, 1979). El régimen pluviométrico combina una estación húmeda entre octubre y abril, aunque con una disminución relativa en febrero, y un período menos lluvioso entre mayo y septiembre; la posibilidad de máximos absolutos entre octubre y enero, el pico secundario en abril-mayo y la probabilidad de muy bajas precipitaciones en invierno son características particulares de este ámbito (Rasilla, 1993). Sus fluctuaciones temporales no fueron tan amplias como las del 2.º componente; esta regularidad es otro aspecto significativo de esta zona. Su evolución a lo largo de ambas décadas ha experimentado dos

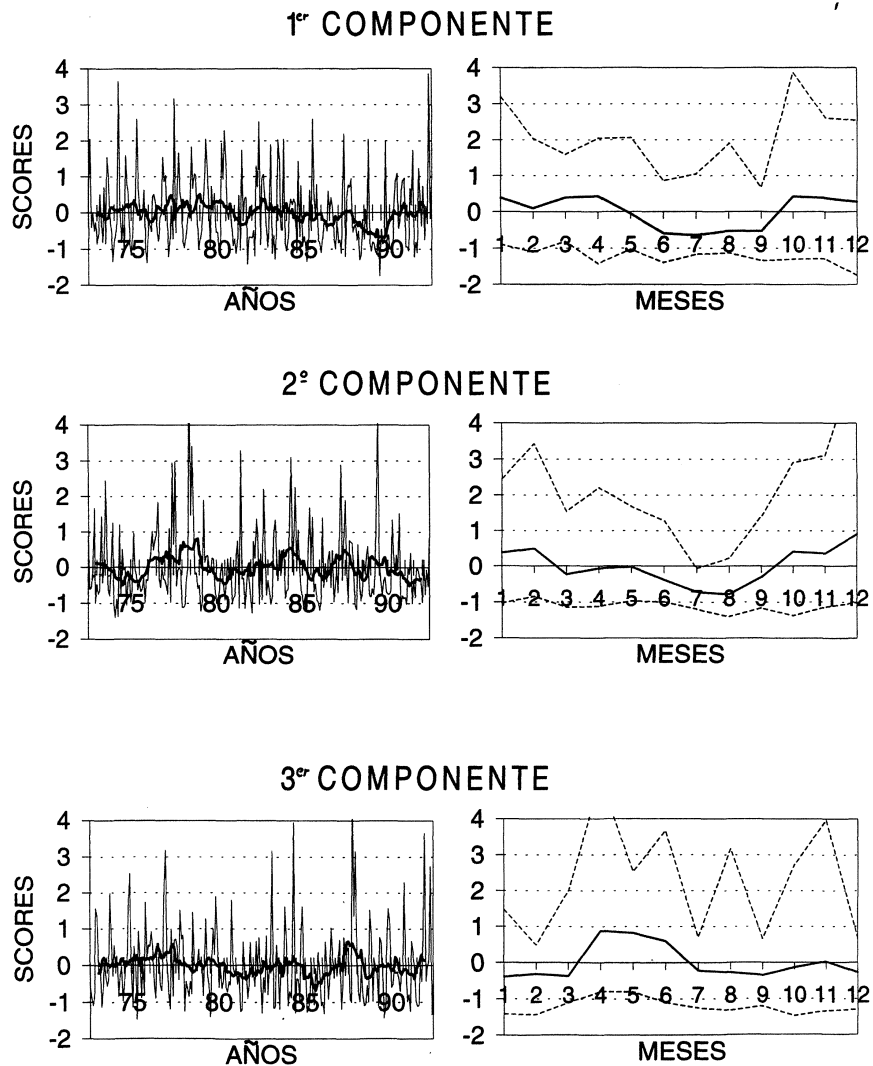


FIGURA 7.—Series temporales de los scores de los componentes principales de la solución HARRIS-KAISER BB.

fases, una positiva hasta primeros de los 80 y una particularmente negativa a fines de la década siguiente, en consonancia con la sequía que azotó la región en tales años.

El componente 2.º estaría relacionado con la frecuencia e intensidad de las situaciones perturbadas del W y SW (Capel, 1983), que disfrutaban de una clara estacionalidad, con un máximo en invierno (normalmente en diciembre, pero desplazado ocasionalmente a febrero como consecuencia de irregularidades en la progresión de los sistemas perturbados) y un mínimo de mayor duración e intensidad que el del componente 1.º en verano. Los máximos absolutos siguen la misma evolución que los valores medios, mientras los mínimos se desplazan a fines del verano y comienzos del otoño. Su máxima intensidad aparece en observatorios montañosos orientados al SW de Orense y Zamora, pero sigue siendo dominante en toda la Meseta del Duero. La evolución interanual no estuvo sometida a ninguna tendencia clara, sino a una alternancia de fases positivas y negativas, siendo las primeras de mayor intensidad y menor duración que las segundas, salvo a comienzos de los 90, momento en el que comenzó un período negativo que ha perdurado hasta los años 1994 y 1995.

Finalmente, el componente 3.º se puede atribuir fundamentalmente con la precipitación tormentosa equinoccial (particularmente entre abril y mayo) y estival sobre la mitad oriental de la Península Ibérica, afectando al Valle del Ebro (Pejenaute, 1992) y tangencialmente al sector oriental de la Meseta Norte y al Golfo de Vizcaya. El carácter puntual y desorganizado de este tipo de precipitación se traduce en altas precipitaciones en cualquier momento del año, salvo en invierno. Esa misma circunstancia impide discernir ninguna tendencia clara en su evolución temporal, pero proporciona una cierta regularidad, ya que la amplitud de las fases positivas y negativas no adquiere la variabilidad observada en el segundo componente.

### *Cluster Analysis*

El examen de la solución Harris-Kaiser Caso II B<sup>T</sup>B pone de manifiesto la dificultad para agrupar los observatorios únicamente con el Análisis en Componentes Principales. La presencia de variables complejas, es decir, de observatorios con altas puntuaciones en más de un componente significa que los tres procesos dinámicos se interrelacionan con diferente grado de intensidad. Esta es una característica particular de las rotaciones oblicuas, pues los componentes comparten entre sí frac-

ciones de varianza, conduciendo a la superposición de áreas homogéneas y a la presencia de amplias zonas de transición, que se aproximan más a la realidad climática que los rígidos límites impuestos por una rotación ortogonal.

En razón de esta circunstancia una alternativa viable es el uso de técnicas de agrupamiento como el Cluster Analysis, relativamente menos frecuente en Climatología que en otras disciplinas como Biología o Psicología, por ciertos problemas relacionados con las limitaciones intrínsecas del método (Fovell y Fovell, 1993), con los algoritmos de clasificación (Word, Single Linkage, etc.), con la naturaleza de los datos analizados (variables irrelevantes o redundantes) y con el propósito específico de regionalizar (distribución de los datos y de límites geográficos). Incluso algunos autores lo rechazan (Wolter, 1987) por la manera arbitraria de calcular el tamaño y composición de los grupos y la ausencia de métodos para determinar la significación estadística de la clasificación resultante. En realidad, el Cluster Analysis representa un compromiso entre la necesidad de generalizar una información para interpretar y comprender una realidad compleja, equilibrando calidad y precisión: las variables climáticas evolucionan paulatinamente, y salvo cuando interviene el relieve, los límites son difusos, cuando no inexistentes, y como consecuencia rara vez existen «regiones climáticas» bien definidas. El objetivo perseguido con la aplicación de esta técnica es conseguir la subdivisión «no natural» más adecuada para describir esas variaciones espaciales y al mismo tiempo no sacrificar mucho detalle. En este tipo de acercamiento no hay una única solución, sino cierto número de ellas según el nivel de detalle deseado y su correspondencia con la realidad, que deberían ser establecidas inicialmente de manera subjetiva (Degaetano, 1996).

A pesar de estas limitaciones el Cluster Analysis se ha generalizado pues proporciona esos límites precisos; además, la estructura de los grupos es tratada en un espacio multidimensional, a diferencia de las distancias sugeridas al comparar dos componentes principales a la vez (Sumner, Guijarro y Ramis, 1996). El uso combinado de métodos jerárquicos y no jerárquicos es una solución útil para mitigar estos inconvenientes (Milligan y Cooper, 1985), y se ha convertido en la técnica «estándar» en múltiples aplicaciones climáticas. Los primeros no parten de suposiciones iniciales, por lo que se usan con carácter exploratorio para determinar el número inicial de grupos. Al principio, las distancias

euclidianas entre observatorios son calculadas y los dos más cercanos forman el primer grupo; este proceso se repite hasta que todos se unen en uno único. La selección del algoritmo jerárquico más adecuado es otra decisión subjetiva que puede modificar los resultados finales del trabajo, pues algunos sufren algún tipo de sesgo; por ejemplo, el *Single Linkage* tiene a experimentar el efecto «bola de nieve», es decir, la formación de un grupo con un gran número de casos y otros con muy pocos miembros, mientras el de *Ward* tiende a producir grupos de similar número de miembros. Por ello, inicialmente este último fue el preferido, aunque recientemente ha sido desplazado por el *Average Linkage*; en un estudio comparativo Kalkstein *et al.* (1987) determinó que era superior al producir grupos con pequeña varianza interna y gran separación. En consonancia, también ha sido utilizado como base en este trabajo.

Para ser de utilidad, el proceso de clasificación debe detenerse en algún punto, el cual podría representar la estructura real (climática) aunque frecuentemente sólo proporciona una subdivisión basada en la información proporcionada por los datos originales, que podría estar sesgada por las decisiones subjetivas citadas. El número concreto de grupo y su correspondencia con la realidad climática es uno de las decisiones controvertidas que afectan a esta técnica multivariada. Una regla empírica, útil como punto de partida, es calcular la raíz cuadrada del número de entidades a clasificar (Sumner y Bonell, 1992), que en nuestro caso se aproximaría a las 15 o 16 regiones. Otro método de gran sencillez consiste en elegir sobre un dendograma el punto en el que un gran número de pequeños grupos se unen en un número comparativamente menor de agrupaciones de mayor tamaño (figura 8a), o dibujar los coeficientes de aglomeración en un papel semilogarítmico, señalando el primer punto significativo de inflexión (Wilmott, 1978); de 5 a 8 podrían ser correctos según ambos criterios. No obstante, la mayoría de las investigaciones se apoya en la aplicación de una serie de estadísticos; en este trabajo se han empleado los proporcionados por el paquete utilizado SAS (1985), conocidos como *pseudo F* y *pseudo t<sup>2</sup>*, que indican el grado de coherencia interna de cada grupo, así como *R<sup>2</sup>*, que informa de cambios en el porcentaje de varianza explicada. Una guía para la selección del número de grupos más apropiado desde el punto de vista estadístico es buscar un máximo en *pseudo F*, seguido por otro de *pseudo t<sup>2</sup>*; este último coincidente con la máxima caída de *R<sup>2</sup>*. Cinco posibles soluciones son factibles sobre los datos analizados, con 21, 15, 11, 6 y 3 grupos. La

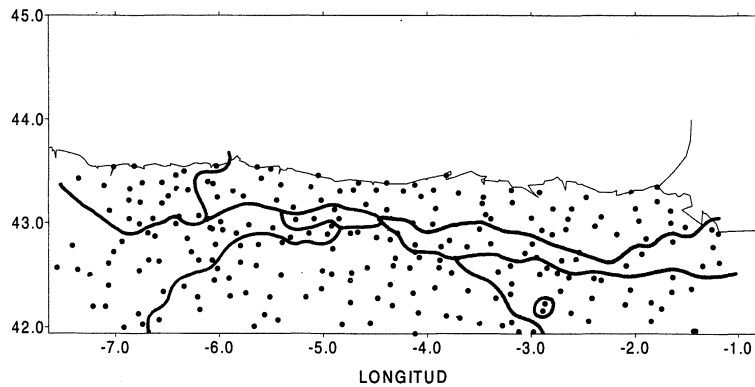
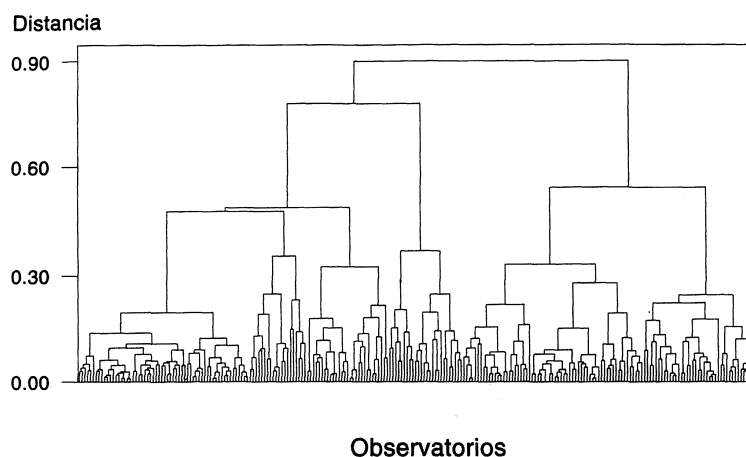


FIGURA 8a.—Clasificación inicial obtenida con AVERAGE LINKAGE.

solución de 3 grupos es lógica, pues refleja qué componente influye más en el régimen pluviométrico de un observatorio; la solución con 6 grupos es la más consistente desde el punto de vista estadístico, ya que fracciona cada uno de los anteriores en una variante pura y otras de transición, siendo las primeras más estables en las restantes soluciones, mientras las de transición sufren cambios sucesivos de composición. En consecuencia, las soluciones con 6 y 21 grupos parecen un buen compromiso entre la necesidad de generalizar y una apropiada descripción de la variabilidad espacial presente en los datos.

Para evitar los inconvenientes asociados a los métodos jerárquicos, como el control marginal de los resultados del análisis, ya que una vez formado un cluster permanece inalterado el resto del proceso, esta clasificación inicial (figura 8b) fue verificada subjetivamente considerando aspectos adicionales como las condiciones topográficas, la localización del observatorio, etc...; particularmente se tuvieron en cuenta dos aspectos: la adecuación de los límites regionales a las grandes líneas del relieve y la continuidad espacial de cada grupo. De esta fase del análisis surgió una clasificación que aun conservando a grandes rasgos la estructura obtenida a partir del citado algoritmo combina las ventajas de las clasificaciones manuales, siguiendo un método híbrido que proporciona resultados más ajustados a la realidad que los puramente automáticos (Yarnal, 1997, comunicación personal). Por ejemplo, uno de los grupos obtenidos inicialmente comprendía observatorios

FIGURA 8b.—*Dendograma.*

del Occidente de Asturias, en torno a las cabeceras del Navia y Eo, con otros de la vertiente meridional del Macizo Asturiano, sobre las cabeceras del Porma, Esla y Pisuerga. En ambos casos el régimen pluviométrico combina situaciones del W y SW con las del N y NW, aunque por razones diferentes. En el Occidente de Asturias su emplazamiento en la vertiente cantábrica no impide que las advecciones zonales y subzonales procedentes del Atlántico todavía depositen abundantes precipitaciones, dado que la Meseta Lucense no supone un gran obstáculo y los valles se orientan SSW-NNE. En el segundo grupo, pese a pertenecer a la Cuenca del Duero, la proximidad a la divisoria y su localización en valles de trazado perpendicular a la misma favorecen el desbordamiento de la actividad pluviométrica procedente del otro lado. Estas peculiaridades ya habían sido observada anteriormente al analizar sus regímenes medios y probables (Rasilla, 1993). Otro grupo fraccionado fue el sector de transición entre el Cantábrico Central y Occidental y el Valle del Ebro. El algoritmo correctamente clasificaba una franja desde Campoo al Pirineo Navarro, pero incluyendo dos observatorios en la cabecera del Najerilla, Anguiano y el Embalse de Mansilla. La explicación a este agrupamiento anómalo es diferente; inmediatamente a sotavento de la divisoria dominan los aportes procedentes del Cantábrico de forma mayoritaria, pero su situación ligeramente marginal denota una cierta



presencia del 3.<sup>er</sup> componente. En los dos observatorios del Sistema Ibérico existe un equilibrio entre los 3 componentes, a causa de la proximidad al Valle del Ebro, su orientación septentrional y la existencia de un pasillo entre los macizos de la Demanda y Neila que facilita el desbordamiento de las advecciones del W. Finalmente, también apareció otro grupo que englobaba la vertiente occidental del Sistema Ibérico y observatorios de los páramos que actúan de divisoria entre la Cuenca del Ebro y la del Duero; este grupo tampoco gozaba de continuidad espacial, por lo que se decidió dividirlo también.

Una vez se configuraron los grupos definitivos y sus valores medios, éstos pasaron a ser utilizados como «seed points» en otro algoritmo de agrupamiento denominado *k-means*. Éste utiliza un procedimiento iterativo para reclasificar los observatorios después de que hayan sido originalmente clasificados dentro de un grupo determinado, lo que mejora los resultados finales. Después de completar este segundo paso, los observatorios con características pluviométricas similares pasan a formar parte de un grupo que puede ser caracterizado examinando los valores de alguno de los parámetros iniciales, y cuya homogeneidad interna puede ser analizada.

#### *Resultados de la regionalización*

Antes de describir los resultados de la regionalización propuesta, el lector debería tener en cuenta que está basada en la combinación de un tipo de Análisis en Componentes Principales realizado sobre uno de los posibles modos de descomposición y según un intervalo de medición concreto, y de un tipo de Cluster Analysis que utiliza un algoritmo de agrupamiento específico. Esta regionalización refleja qué mecanismos dinámicos dominan el régimen pluviométrico y el grado de covariabilidad espacial de la precipitación, independientemente de la cantidad. Aunque subyacente en la intensidad de cada componente por la estacionalidad de las situaciones sinópticas (por ejemplo, en determinados puntos un aumento del valor del 2.<sup>o</sup> componente suele estar asociado a un aumento de la precipitación invernal), otros aspectos también importantes, como la cuantía total de la precipitación, su intensidad y su variabilidad interanual, etc., deben ser analizados por otro tipo de variables y otra matriz de descomposición. No obstante, para proporcionar

información adicional sobre estos aspectos y mejorar la comprensión de la evolución de los componentes sobre el espacio, una serie de parámetros elaborados a partir de las variables originales y el valor de cada componente han sido sometidos a un análisis de correlación, que nos proporciona el grado de interrelación entre la dinámica atmosférica y la localización de cada observatorio (cuadros I y II).

La figura 9 muestra la clasificación final según el método *k-means* aplicado a la subdivisión modificada subjetivamente. El resultado es una división con un total de 8 grandes ámbitos (áreas) y 24 subgrupos (sectores). Los límites fueron dibujados inicialmente a mano, y luego adaptados, donde fue posible, a las líneas generales del relieve; como se puede observar, siguen a grandes rasgos la orografía y el trazado de las cuencas fluviales.

I. *Vertiente Cantábrica*.—El régimen pluviométrico evoluciona según la longitud, conjugando un aumento del 1.º componente y en menor medida del 3.º, hacia el vértice del Golfo de Vizcaya, y del 2.º hacia la costa gallega. Esta evolución implica un aumento significativo de la precipitación total y estival y una reducción de su variabilidad interanual, hacia el País Vasco, y en menor medida un aumento de la fre-

CUADRO I  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES  
DE LA PRECIPITACIÓN Y LA LOCALIZACIÓN DE CADA OBSERVATORIO  
PLUVIOMÉTRICO, SEGÚN VERTIENTES HIDROGRÁFICAS  
(VALORES SUBRAYADOS: SIGNIFICATIVOS AL 0,05%)

	Vertiente Cantábrica		Vertiente Atlántica		Valle del ebro	
	Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long
Precipitación anual	<u>-0,43</u>	<u>-0,56</u>	<u>0,32</u>	<u>0,45</u>	<u>0,72</u>	0,17
Coefficiente de variación	0,02	<u>0,42</u>	-0,29	0,24	<u>-0,33</u>	-0,26
Días de precipitación anual	0,38	<u>-0,39</u>	<u>0,41</u>	<u>0,42</u>	<u>0,74</u>	0,27
% precipitación invernal	<u>-0,30</u>	0,33	0,20	<u>0,70</u>	<u>0,85</u>	<u>0,54</u>
% precipitación primaveral	<u>-0,36</u>	<u>0,03</u>	-0,26	<u>-0,65</u>	<u>-0,68</u>	-0,18
% precipitación estival	<u>0,17</u>	<u>-0,57</u>	-0,25	<u>-0,68</u>	<u>-0,80</u>	<u>-0,37</u>
% precipitación otoñal	<u>0,62</u>	<u>0,21</u>	<u>-0,33</u>	0,28	0,04	<u>-0,43</u>

DELIMITACIÓN DE REGIONES PLUVIOMÉTRICAS...

CUADRO II  
 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE CADA COMPONENTE  
 PRINCIPAL Y LA LOCALIZACIÓN DE CADA OBSERVATORIO  
 PLUVIOMÉTRICO, SEGÚN VERTIENTES HIDROGRÁFICAS  
 (VALORES SUBRAYADOS: SIGNIFICATIVOS AL 0,05%)

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
<b>Vertiente Cantábrica</b>			
<i>Latitud</i>	-0,06	0,01	0,07
<i>Longitud</i>	<u>-0,78</u>	<u>0,84</u>	<u>-0,48</u>
<b>Vertiente Atlántica</b>			
<i>Latitud</i>	<u>0,62</u>	0,16	<u>-0,50</u>
<i>Longitud</i>	0,16	<u>0,78</u>	<u>-0,79</u>
<b>Valle del Ebro</b>			
<i>Latitud</i>	<u>0,89</u>	<u>0,37</u>	<u>-0,87</u>
<i>Longitud</i>	0,27	-0,20	0,16

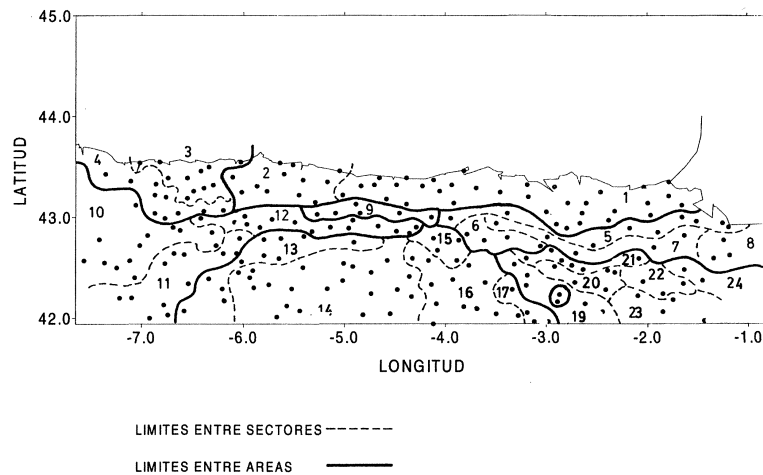


FIGURA 9.—Clasificación final.

cuencia de las precipitaciones y una disminución del porcentaje de precipitación invernal. Según la aportación de cada componente es posible distinguir dos áreas.

— *Cantábrico Central y Oriental (A1)*. Comprende la vertiente Cantábrica desde la Cuenca Central Asturiana hasta el Bidasoa, y se desborda ligeramente hacia el Valle del Ebro. El 1.<sup>er</sup> componente es dominante, pero según la intensidad del 2.<sup>o</sup> es posible distinguir:

Una variante pura, sin apenas peso de los otros dos (salvo en Guipúzcoa), que ocupa desde el Oriente de Asturias hasta el Bidasoa (S1). A consecuencia del descenso de altitud de las montañas que separan Álava de Vizcaya, absorbe una serie de observatorios emplazados inmediatamente rebasada la divisoria. Estación: Sondica.

Una con ligera participación del 2.<sup>o</sup> componente, muy atenuado sin embargo, que se extiende por la Cuenca Central Asturiana (S2), en torno a los valles del Huerna, Nalón, Piloña y Sella. Estación: Gijón.

— *Cantábrico Occidental (A2)*, desde el Cabo de Peñas y la Cuenca del Narcea hasta la Meseta Lucense. En este área la importancia del 2.<sup>o</sup> componente se acentúa hasta igualar al 1.<sup>o</sup>. Ello es debido fundamentalmente a la orientación de los valles, labrados sobre la «Rodilla Asturiana», que permite una gran actividad de las situaciones del W y SW. En función de la intensidad de ese 2.<sup>o</sup> componente, a su vez consecuencia de la distancia hacia la divisoria (latitud y altitud), se distinguen dos sectores.

La costa y cauce medio de de los ríos Narcea y Navia (S3). Estación: Arganza.

Las cabeceras de esos valles, junto a la cuenca del Eo y la Marina Lucense, en esencia una zona de transición (S4) en la que los aportes del primer componente son igualados y ocasionalmente superados por los del 2.<sup>o</sup> (particularmente si la orientación del valle es SW). Estación: Genestoso.

II. *Valle del Ebro*.—El régimen pluviométrico combina los componentes 1.<sup>o</sup> y 3.<sup>o</sup>, siendo su intensidad función del alejamiento de la principal fuente de humedad, las masas de aire procedentes del Cantábrico; esta circunstancia se deduce de la evolución latitudinal del 2.<sup>o</sup>

componente, más significativa que la longitudinal. Como consecuencia de esta reducción de la influencia cantábrica, las precipitaciones totales e invernales, así como su frecuencia, disminuyen a medida que nos internamos en el Valle del Ebro, al tiempo que se incrementa la proporción de la primavera y el otoño. La influencia del 2.º componente es escasa y restringida a las cabeceras del Sistema Ibérico. Tres son las áreas:

— *Vertiente Meridional de la Cordillera Cantábrica (A3)*. Es un área compuesta por un conjunto de macizos montañosos discontinuos, que no impiden el paso de la actividad pluviométrica entre cada ámbito, pero generan un considerable fraccionamiento en aureolas concéntricas:

La primera (S5), inmediatamente al S de la divisoria, ocupa parte de la cabecera del Ebro (Campoo de Suso), la del Trueba, La Losa (N. de Burgos), la Llanada Alavesa, el Corredor de Araquil y las cabeceras del Ulzama y Arga hasta el Pirineo Navarro. Estación: Alsasua.

La segunda, al S, discurre desde los Altos de Valdegovia hasta la Cuenca de Pamplona, pasando por el Condado de Treviño (S7). Estación: Bajauri.

El límite del área de influencia cantábrica está localizado en dos reglones que ya manifiestan con claridad los efectos del alejamiento del Cantábrico (reducción de la precipitación en general y de la invernada en particular, un par de meses secos al año, máximos equinocciales de la misma intensidad que los invernales).

El fondo de los valles que se extienden desde que el Ebro abandona e Páramo de Lora hasta que alcanza La Bureba (S6). Estación: Trespa-derne.

Los valles navarros que unen la Cuenca de Pamplona con el Valle del Río Aragón (S8). Estación: Yesa.

— *Vertiente Septentrional de la Sierra de la Demanda (A4)*. Es un área representada únicamente por 2 observatorios en la cabecera del Najerilla, pero a la que se podrían adscribir también las del Ezcaray y Tirón; en cualquier caso, tienen las suficientes peculiaridades como para constituir una entidad autónoma. Algunas de sus características fundamentales ya han sido señaladas anteriormente; en consecuencia, el régimen pluviométrico está equilibrado por los 3 componentes, y aunque el

máximo mensual ocurre en abril las precipitaciones invernales son algo superiores a las primaverales. Observatorio: Anguiano-Valvanera.

— *La Cuenca Sedimentaria Interior del Valle del Ebro (A5)*. Agrupa los observatorios de gran parte de la vertiente oriental del Sistema Ibérico, la Rioja Media y Baja y la Ribera Navarra con régimen pluviométrico bimodal, compuesto por dos máximos, el primaveral más acentuado cuanto más al interior, y dos períodos de sequedad, el invernal atenuado en las montañas y en los más septentrionales. La evolución se realiza ganando intensidad el 3.<sup>er</sup> componente y perdiéndolo el 1.<sup>o</sup> hacia el E y el S, lo que supone la acentuación del régimen equinoccial. Sin embargo, como consecuencia de la variedad topográfica de este ámbito, la fragmentación es otra de sus características: 6 sectores agrupan todo este conjunto.

Vertiente Oriental Sistema Ibérico (S19), desde los Mts. de Oca a la Sierra Cebollera. Estación: Aldeanueva de Cameros.

Piedemonte del Sistema Ibérico (S20). Estación: Soto de Cameros.

La Bureba y Rioja Alta (S21). Estación: Haro.

La Rioja Baja (S22). Estación: Agoncillo.

Sector Navarra Media (S24). Estación: Olite.

Sector Ribera Navarra (S23). Estación: Fitero.

III. *Cuencas del Miño-Sil y Duero*.—El principal factor es la distancia al Atlántico, de tal manera que la evolución fundamental en el régimen pluviométrico es la progresiva pérdida de importancia del 2.<sup>o</sup> componente y de las precipitaciones invernales, así como de las cantidades totales, puesto que si bien son sustituidas hacia el interior por el 3.<sup>er</sup> componente, su escasa copiosidad no impide una reducción de las precipitaciones a igualdad de condiciones topográficas. Pero a diferencia del Cantábrico y del Valle del Ebro, en los que sólo un par de componentes explicaban casi toda la variabilidad espacial de la precipitación, aquí se combinan los tres, ya que la proximidad al Cantábrico es otro factor geográfico de cierta importancia. De ahí también que las correlaciones entre la localización de cada observatorio (latitud y longitud) y variables como la cantidad y frecuencia de la precipitación o su regularidad interanual expliquen menos que la proporción de precipitación en cada estación astronómica.

— *Cabecera de los Valles del Macizo Asturiano y Campoo (A6)*. Este área es de reducida dimensión y agrupa a observatorios de la vertiente meridional del Macizo Asturiano, próximos a la divisoria, desde la Cuenca del Porma hasta Campoo. Estación: Cofiñal.

— *Área de influencia Atlántica dominante (A7)*. Comprende aquellas zonas en las que el régimen pluviométrico refleja de manera casi exclusiva los efectos de las situaciones dinámicas asociadas al 2.º componente, mayoritariamente procedentes del 3.º cuadrante (flujos del S, SW y W). Esto determina un régimen simple, con un máximo concentrado en la estación fría y un verano seco, que suele presentar el mínimo absoluto en agosto y no en julio, a diferencia del área sometida a la influencia cantábrica. Comprende observatorios de Lugo, Orense, El Bierzo y la Meseta Septentrional hasta los Mts. de Oca y la vertiente occidental de la Sierra de La Demanda, y se puede fraccionar en los siguientes grupos:

Las Sierras del Caurel y Ancares, junto con la cabecera del Navia y del Eo y gran parte de la Meseta Lucense (S10) experimentan cierta participación del 1.º componente. Estación: Sequeiros.

El sector con mayor dependencia del 2.º componente se sitúa al E de Orense, montañas del NW de Zamora (Sierra Segundeira, La Cabrera) y ambas vertientes de los Mts. de León, incluyendo gran parte de El Bierzo. Estación: Chaguazoso.

La vertiente meridional del Macizo Asturiano, bien en valles transversales, como Laciana o Babia o en sectores alejados de la divisoria. Estación: Riolago.

— *Área de influencia Atlántica atenuada (A8)*. Comprende las llanuras sedimentarias de la Meseta del Duero y sus bordes montañosos orientales. En este conjunto todavía se mantiene como influencia dominante el 2.º componente, pero la ausencia de desniveles orográficos en unos casos y el alejamiento del Atlántico en otros, atenúa la actividad de las advecciones procedentes del SW y W; de ahí que hacia el interior aumente progresivamente la participación del 3.º y hacia el NE del 1.º.

Páramos de Raña de León y Palencia (S13). Estación: Sopeña de Cureño.

Sector occidental y central de la Meseta del Duero (S14). Estación: Sahagún de Campos.

Páramos del S de Cantabria y N de Burgos (S15). Estación: Humada.  
Sector oriental de la Meseta del Duero (S16). Estación: Burgos-Villafría.

Piedemonte y vertiente occidental del Sistema Ibérico (S17). Observatorio: Palacios de la Sierra.

Un método para determinar el grado de homogeneidad de cada grupo (Kraus, 1977; Wigley *et al.*, 1984; Sulochana, Gadgil y Joshi, 1993) relaciona la varianza total de las series pluviométricas de cada región y sus componentes espaciales y temporales. El cuadro III contiene el valor del

CUADRO III

DISTRIBUCIÓN SEGÚN INTERVALOS (%) DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE OBSERVATORIOS PERTENECIENTES A LA MISMA REGIÓN Y GRADO DE HOMOGENEIDAD DE CADA UNA

Grupos	< 0,70	0,71-0,80	0,81-0,90	> 0,91	$W_h(k)$
1	4,3	32,9	54,4	8,4	0,81
2	0,0	1,7	65,0	33,3	0,83
3	0,0	0,0	60,6	39,4	0,80
4	0,0	8,3	38,9	52,9	0,79
5	3,5	40,0	45,5	10,9	0,76
6	33,3	15,7	33,3	16,7	0,60
7	0,0	20,0	66,7	13,3	0,72
8	0,0	33,3	66,6	0,0	0,83
9	0,0	50,0	20,0	30,0	0,68
10	0,0	0,0	69,2	30,8	0,83
11	0,0	5,1	82,1	12,8	0,82
12	0,0	17,5	68,3	14,2	0,81
13	1,3	23,1	67,9	7,7	0,80
14	1,7	29,9	63,2	5,2	0,79
15	0,0	4,8	85,7	9,5	0,74
16	0,0	38,3	56,7	5,0	0,78
17	0,0	9,5	50,2	40,3	0,70
18	0,0	0,0	100,0	0,0	0,84
19	0,0	60,0	40,0	0,0	0,66
20	0,0	16,7	83,3	0,0	0,62
21	0,0	26,7	60,0	13,3	0,70
22	40,0	50,0	10,0	0,0	0,57
23	0,0	30,0	70,0	0,0	0,69
24	0,0	33,3	66,7	0,0	0,62



índice  $W_n(k)$  para cada sector; valores altos corresponden a grupos con un componente espacial menor que el temporal, siendo coherentes desde el punto de vista espacial.

Los grupos con una alta homogeneidad corresponden a aquellas áreas en las que los procesos de precipitación están provocados por la advección de masas húmedas, mientras los valores más bajos se encuentran en el Valle del Ebro, donde los procesos convectivos son dominantes. Esta circunstancia tiene una explicación climática coherente con las características de la precipitación, continua en tiempo y espacio el caso de la frontal, y más dispersa en el caso de la convectiva. A pesar de ello, y salvo en un único caso, incluso en las zonas donde esta última es predominante el componente espacial representa más del 60% de la varianza total. La homogeneidad también se puede determinar mediante las correlaciones entre todos los observatorios de cada uno de los sectores .

Los valores más bajos vuelven a corresponder a los grupos del Valle del Ebro con menor homogeneidad: por ejemplo, en el grupo 21 (Agoncillo, Caparroso, Sartaguda etc.) más del 50% de las correlaciones superan el valor de 0,7. En los observatorios de la vertiente atlántica donde los dos primeros componentes son decisivos y la precipitación mayoritariamente frontal, bajo estructuras dinámicas de escala sinóptica, las correlaciones son más altas.

### *Conclusiones*

La aplicación de un Análisis en Componentes Principales ha reducido la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones mensuales de 219 observatorios durante 20 años en un total de 3 componentes, que cuentan con casi el 80% de la varianza presente en los originales, y han permitido describir los factores dinámicos que generan la mayor parte de la variación espacial de la precipitación en el N. de la Península Ibérica. Gran parte de la variabilidad es consecuencia de tres procesos dinámicos, cada uno de los cuales muestra una señal claramente limitada a una zona determinada.

Posteriormente, un procedimiento de agrupamiento (Cluster Analysis) en dos fases, una para determinar los grupos iniciales (*average linkage*) y otra para para confirmarlos (*k-means*) sirvió para obtener una

clasificación espacial de los observatorios; entre ambas se introdujo la subjetividad del autor para modificar, según su conocimiento de la dinámica atmosférica regional y de la influencia de los citados factores geográficos, los grupos iniciales.

La regionalización pluviométrica propuesta no difiere sustancialmente de las publicadas hasta la fecha, si bien con un grado de detalle mayor. Los límites de algunos ámbitos son nítidos y estables, apoyándose fundamentalmente en el relieve, que es el factor geográfico que regula la intensidad espacial de esos procesos dinámicos, pero en otros casos existe una gran compartimentación, como en el Valle del Ebro y Asturias Occidental, pues dicho factor no se comporta siempre como una frontera neta.

Futuras investigaciones deberían conducir a un análisis sobre escalas temporales más reducidas (períodos de diez, cinco días, precipitación diaria...), acompañados de una partición estacional para dar cuenta de la estacionalidad de las situaciones sinópticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BUELL, C. E. (1975): «The topography of the empirical orthogonal functions». *Preprints Fourth Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*. Tallahassee, AMS, pp. 188-193.
- (1979): «On the physical interpretation of empirical orthogonal functions». *Preprints Sixth Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences*. Banff, AMS, pp. 112-117.
- BONELL, M. y SUMMER, G. N. (1992): «Autumn and winter daily precipitation areas in Wales, 1982-83 to 1986-87». *Int. J. Climatol*, 12, pp. 77-102.
- CAÑADA, R. y GALÁN, e. (1992): «Métodos de reducción y discriminación en regionalización climática». *Actas del IV Reunión del Grupo de Métodos Cuantitativos*. AGE, Zaragoza.
- CAPEL MOLINA, J. J.: *Los climas de España*. Oikos Tau, Barcelona, 1981, 429 pp.
- (1983): «Situaciones sinópticas de lluvias intensas en la Meseta Castellana». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 3, pp. 105-123.
- CATELL, R. B. (1966): «The scree test for the number of factors». *Multivar. Behav. Res.*, 1, pp. 245-276.
- CRADDDOCK, J. M. y FLOOD, C. R. (1969): «Eigenvectors for representing the 500 mb geopotential surface over the Northern Hemisphere». *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 95, pp. 576-593.
- CREUS NOVAU, J.: *El clima del Alto Aragón Occidental*. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos, Jaca, 1983, 258 pp.
- DAULTREY, S. (1976): *Principal Component Analysis*. GeoBooks, Norwich, 93 ppp.
- DEGAETANO, A. T. (1996): «Delineation of Mesoscale Climate Zones in the Northeastern United States Using a Novel Approach to Cluster Analysis». *J. Climate*, p, pp. 1765-1782.
- DOWDY, S. y WEARDEN, S. (1991): *Statistics for research*. John Willey and Sons, 321 pp.

- DROSDOWSKY, W. (1993): «An analysis of Australian seasonal rainfall anomalies, 1950-1987 I: Spatial Patterns». *Int. J. Climatol.*, 13, pp. 1-30.
- DUNTEMAN, G. H. (1989): *Principal Components Analysis*. Stage University Paper. Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 95 pp.
- EASTERLING, D. R. (199): «Persistent patterns of thunderstorm activity in the Central United States». *J. Climate*, 3, pp. 1280-1389.
- FELICÍSIMO PÉREZ, A. M.: *Introducción al clima de Asturias*. Memoria de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Oviedo, 1980 (original mecanografiado).
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1994): *Manual de Climatología Aplicada*. Oikos-Tau, Madrid, 224 pp.
- FERNÁNDEZ MILLS, G.; LANA, X. y SERRA, C. (1994): «Catalonian Precipitation Patterns: Principal Component Analysis and automated regionalization». *Theor. Appl. Climatol.*, 49, pp. 201-212.
- FERNÁNDEZ MILLS, G. (1995): «Principal Component Analysis of Precipitation and Rainfall Regionalization in Spain». *Theor. Appl. Climatol.*, 50, pp. 169-183.
- FONT TULLOT, I.: *Climatología de España y Portugal*. INM, Madrid, 1983, 296 pp.
- FOVELL, R. G. y FOVELL, M. (1993): «Climate Zones of the Conterminous United States Defined Using Cluster Analysis». *J. Climate*, 6, pp. 2103-2135.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J.: *El clima en Castilla y León*. Editorial Ámbito, Valladolid, 1986, 370 pp.
- HARMAN, H. H. (1976): *Modern Factor Analysis*. The University of Chicago Press, 487 pp.
- HOTELLING, H. (1933): «Analysis of a complex of statistical variables into principal components». *J. Educ. Psychol.*, 24, pp. 498-520.
- JOLLIFFE, I. T. (1986): *Principal Components Analysis*. Springer-Verlag, New York.
- (1987): «Rotation of Principal Components: some comments». *J. Climatol.*, 7, pp. 501-510.
- KAISER, H. F. (1959): «Computer program for Varimax rotation in factor analysis». *Educ. Psychol. Meas.*, 19, pp. 413-420.
- KARL, R. R.; KOSCIELNY, A. J. y DÍAZ, H. F. (1982): «Potential errors in the application of principal component (eigenvector) analysis to geophysical data». *J. Appl. Meteorol.*, 21, pp. 1183-1186.
- KALKSTEIN, L. S.; TAN, G. y SKINLOV, J. A. (1987): «An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification». *J. Clim. Appl. Meteor.*, 26, pp. 717-730.
- KRAUS, E. B. (1977): «Subtropical droughts and cross-equatorial energy transport». *Mon. Wea. Rev.*, 105, pp. 1009-1018.
- LAUTENSACH, H.: *Geografía de España y Portugal*. Vicens Vives, Barcelona, 1967, 814 pp.
- LEGATES, D. R. (1993): «The effect of domain shape on principal components analysis: a reply». *Int. J. Climatol.*, 13, pp. 210-228.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. y J. (1959): «El clima de España según la clasificación de Köppen». *Estudios Geográficos*, n.º 75, pp. 167-188.
- LYONS, W. F. y BONELL, M. (1994): «Regionalization of daily mesoscale rainfall in the tropical wetdry climate of the Townsville area of north-east Queensland during the 1988-1989 wet season». *Int. J. Climatol.*, 14, pp. 135-163.
- MILLIGAN, G. W. y COOPER, M. C. (1985): «An examination of the effect of six types of error perturbation on fifteen clustering algorithms». *Psychometrica*, 45, pp. 325-342.
- MOUNIER, J.: *Les climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*. Universidad de Lille III, 3 vol., París, 1979, 1221 pp.
- MUÑOZ JIMÉNEZ, J. (1982): «El clima». En *Geografía de Asturias*, t. I, Ayalga Ed., Salinas, pp. 94-189.
- (1980): «Ensayo de clasificación sintética de los climas de la España Peninsular y Balears». *Estudios Geográficos*, n.º 160, pp. 267-302.

- NORTH, G. R.; BELL, T. L. y COHALAN, R. F. (1982): «Sampling errors in estimation of empirical orthogonal functions». *Mon. Wea. Rev.*, 110, pp. 699-706.
- OLIVIER, J. E. (1991): «The History, Status and Future of Climate Classification». *Physical Geography*, 12, pp. 231-251.
- ORTEGA VILLAZÁN, M. T.: *Estudio geográfico del clima del sector norte de la Cordillera Ibérica*. Universidad de Valladolid, Valladolid, 1992.
- OVERLAND, J. E. y PREISENDORFER, R. W. (1982): «A significance test for principal components applied to cyclone climatology». *Mon. Wea. Rev.*, 110, pp. 1-8.
- PEARSON, K. (1901): «On lines and planes to closest fit to systems of points in space». *Philos. Mag. Ser. 6*, 2, pp. 559-572.
- PEJENAUTE GOÑI, J. M.: *El clima de Navarra*. Ed. Eunate, Pamplona, 1992.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. F. (1993): «Los regímenes de precipitación en el norte de la Península Ibérica». *Estudios Geográficos*, n.º 214, pp. 151-181.
- RICHMAN, M. B. (1981): «Obliquely rotated principal components. An improved map typing technique». *J. Appl. Meteorol.*, 20, pp. 1145-1159.
- (1985): «Rotation of principal components». *J. Climatol.*, 6, pp. 293-335.
- (1993): «Comments on: The effect of domain shape on principal components analysis». *Int. J. Climatol.*, 13, pp. 203-218.
- RUIZ URRESTARAZU, E.: *La transición climática del Cantábrico Oriental al Valle Medio del Ebro*. Diputación Foral de Álava, Servicio de Publicaciones, Vitoria, 1982, 651 pp.
- SAS (1985): *SAS Institute User's Guide*. SAS Institute Publ. Cary, NC.
- SPSS Inc. (1988): *SPSS-PC Users Guide*. SPSS Inc. Chicago, IL.
- STEINER, D. (1965): «A multivariate statistical approach to climate regionalization and classification». *Tijdschr. K. ned. aardrijksk. Geroot.*, 82, pp. 329-347.
- SULOCHANA GADGIL, Y. y YOSHI, N. B. (1993): «Coherent rainfall zones of the Indian region». *Int. J. Climatol.*, 13, pp. 547-566.
- SUMNER, G.; RAMIS, C. y GUJARRO, J. A. (1993): «The spatial organization of daily rainfall over Mallorca, Spain». *Int. J. Climatol.*, 13, pp. 89-109.
- THURSTONE, L. L. (1947): *Multiple Factor Analysis*. University of Chicago Press.
- URIARTE, A.: *Régimen de precipitaciones en la costa N y NW de la Península Ibérica*. Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa, Col. «Estudios e Informes», San Sebastián, 1983, 547 pp.
- WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R. y JONES, P. D. (1984): «On the average value of correlated time series, with applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology». *J. Climate Appl. Meteorol.*, 23, pp. 201-213.
- WOLTER, K. (1987): «The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, eastern Pacific and Indian oceans as captured by cluster analysis». *J. Climate. Appl. Meteorol.*, 26, pp. 540-558.
- WHITE, D.; RICHMAN, M. y YARNAL, B. (1991): «Climate regionalization and rotation of Principal Components». *Int. J. Climatol.*, 11, pp. 1-25.
- WILLMOT, C. J. (1978): «P-mode principal component analysis, grouping and precipitation regions in California». *Arch. Met. Geoph. Biocl.*, Ser. B., 26, pp. 277-295.
- YARNAL, B. (1993): *Synoptic Climatology in Environmental Analysis: a primer*. Belhaven Press, London.
- WILKS, D. S. (1995): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, vol. 59, 464 pp.

RESUMEN: Este artículo revisa uno de los métodos más comunes de regionalización climática, basado en la combinación de un procedimiento de reducción de la información, el Análisis en Componentes Principales, y otro de clasificación, el Cluster Analysis, y su aplicación a un área concreta de la Península Ibérica. Los resultados muestran que la di-

*DELIMITACIÓN DE REGIONES PLUVIOMÉTRICAS...*

---

námica atmosférica se puede reducir a 3 componentes, atlántica, cantábrica y continental, que combinados nos proporcionan una división en 3 grandes áreas, 6 subáreas y 21 sectores.

**PALABRAS CLAVE:** Regionalización, Análisis en Componentes Principales, Cluster Analysis, Northern Iberian Peninsula.

**ABSTRACT:** This paper reviews one of the most common methodology of climatic regionalization, by combining a reduction method, the Principal Components Analysis, and a classification method, the Cluster Analysis, applied to a specific area of the Iberian Peninsula. Results show that the dynamical behavior of the atmosphere in this area can be reduced to three components, named Atlantic, Cantabric and Continental, which combined provide us a division in three large areas, 8 subareas and 24 sectors.

**KEY WORDS:** Regionalization, Principal Components Analysis, Cluster Analysis, Northern Iberian Peninsula.