

DESARROLLO METODOLOGICO PARA EL ANALISIS Y REPRESENTACION CARTOGRAFICA DE LAS RACHAS LLUVIOSAS EN EL PAIS VASCO

Pablo FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE HERNÁEZ
Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio
Universidad de Cantabria

RESUMEN

El presente artículo pretende confirmar dos hipótesis de trabajo. Por un lado la idea de que la elevación del umbral de corte de 1, 5 y 10 mm/día en la definición de rachas lluviosas conlleva la homogeneización pluviométrica de los matices locales del País Vasco particularizados por otros aspectos geográficos como la orografía o la exposición. Para ello, se analizan las distribuciones de frecuencia de las secuencias lluviosas registradas en cuarenta y una localidades del País Vasco durante el periodo 1965-1994 bajo los umbrales de corte mencionados. En segundo lugar, se estudia el grado de ajuste las distribuciones empíricas de las rachas lluviosas a los modelos dicotómicos markovianos de diferentes órdenes confirmando su validez como expresión teórica de la realidad pluviométrica en el País Vasco. De este modo, se establece una comparativa entre un método de clasificación básico, escasamente robusto, basado en valores medios y el correspondiente a los ajustes markovianos. Finalmente, se realiza una primera aproximación a la creación de cartografías de las categorías pluviométricas y de los ajustes estadísticos sobre superficies teóricas isotrópicas.

Palabras claves: Rachas, umbral de corte, índice de precisión real, métodos de interpolación, superficie isotrópica, modelo markoviano.

ABSTRACT

There are two main aims in the present research. The first, refers to analysis and categorization of the rainfall structures that take place at the Basque region in the North of Spain. Through the definition of wet chains over 41 different weather stations for the period 1965-94 under three different daily rainfall cut points (1, 5 and 10 mm/day), it has been proved that an homogenization process takes place when the cut point to define them is increased. As a result, at the highest cut point (10 mm/day), the cartographic representation agrees with the theoretical dissymmetry of rainfall in the Basque Country. On the other hand, different markovian orders are applied in order to explain the wet chains' empirical distribution functions adjustments to the theoretical ones. During the research process, very basic interpolation techniques have been used to map the results in both cases. Finally, a comparison between a simple classification method based on average values and a much more complex one, based on probabilistic models, was developed.

Key words: Wet spells, cut point, rainfall structure, real precision index, interpolation techniques, isotropic surface, markovian models.

1. INTRODUCCION

La definición y el análisis de las estructuras pluviométricas mediante la consideración de las rachas lluviosas que acontecen en un lugar ha sido estudiado por autores como URIARTE (1979) cuando analiza el régimen de las precipitaciones en la costa NW y N de la Península Ibérica o por MATEO GONZÁLEZ (1965), profundo conocedor de la pluviometría en el Norte de España en general y de la asturiana en particular. Son abundantes los autores que al trabajar con los datos de precipitación aluden, de un modo u otro, a la estructura pluviométrica de un lugar determinado desde enfoques dinámicos, sinópticos, estadísticos o meramente descriptivos (LINÉS ESCARDO, 1970, GARCÍA MENDAÑA y GARMENDIA IRAUNDEGUI, 1969, GARCIA CODRON *et al*, 2004, RASO NADAL, 1982, RUIZ URRESTARAZU, 1982, RASILLA, 2003).

Otros autores han empleado las secuencias secas y lluviosas de cara al cálculo de probabilidades de ocurrencia y el estudio de la persistencia empírica y teórica de la precipitación y de la sequía mediante su ajuste a distribuciones de probabilidad y modelos markovianos de diferentes órdenes (GABRIEL y NEUMANN, 1962, JAMES y CASKEY, 1963, MARTÍN-VIDE, 1981, PÉREZ MANRIQUE *et al*, 1984, GÓMEZ NAVARRO, 1997, FDEZ. DE ARROYABE, 2005) o en el marco teórico de la aplicación de modelos matemáticos avanzados (ABAURREA, *et al* 1994, ASIN, 2002) como las cadenas de Markov ocultas (SHASOM, 1997, DELSOLE, 1999) o mediante la comparación de sistemas dinámicos no lineales y los modelos markovianos de cara a la predicción del comportamiento de la ENSO (XUE, *et al* 1999).

Son destacables también aquellos estudios que, mediante el empleo de modelos probabilísticas, se centran en el análisis de la escasez y el exceso de precipitación mensual (LANA, SERRA, BARGUEÑO, 2001), en el análisis de los valores máximos de precipitación diaria esperados en Cataluña y su representación espacial (LANA, FERNANDEZ MILLS, BURGENO, 1995) o en la regionalización de la España peninsular a partir de las rachas secas y modelos probabilísticas dicotómicos (MARTIN-VIDE, GÓMEZ NAVARRO, 1999).

Igualmente el análisis de la evolución de las rachas lluviosas conforme se eleva el umbral de corte forma parte importante de la investigación (WEISS, 1964) dado que el estudio normalizado de la variación de los tipos pluviométricos podría convertirse en un excelente indicador para el análisis de la variabilidad natural de la precipitación y del cambio climático.

2. DATOS Y METODOLOGIA

En esta ocasión, se ha trabajado con los datos recopilados por las estaciones y observatorios meteorológicos, principalmente de carácter manual, que el Instituto Nacional de Meteorología (INM), Iberdrola y la red meteorológica de la Asociación Española de Navegación Aérea (AENA) han mantenido durante años en el País Vasco. El periodo de observaciones empleado comprende un total de 30 años (1965-1994) conforme a los criterios definidos por la OMM. La selección de este periodo atiende a la razón de que es el periodo que mayor volumen de registros completos acumula para el conjunto de las estaciones seleccionadas. En la Figura 1 se observa la distribución espacial de las estaciones meteorológicas empleadas encontrándose seis de ella en el territorio histórico de Vizcaya, nueve en el de Guipúzcoa y veintiséis en el de

Álava. Esta aparente desigualdad se ve compensada por la mayor superficie y la mayor diversidad climática del territorio alavés con respecto a Guipúzcoa o Vizcaya.

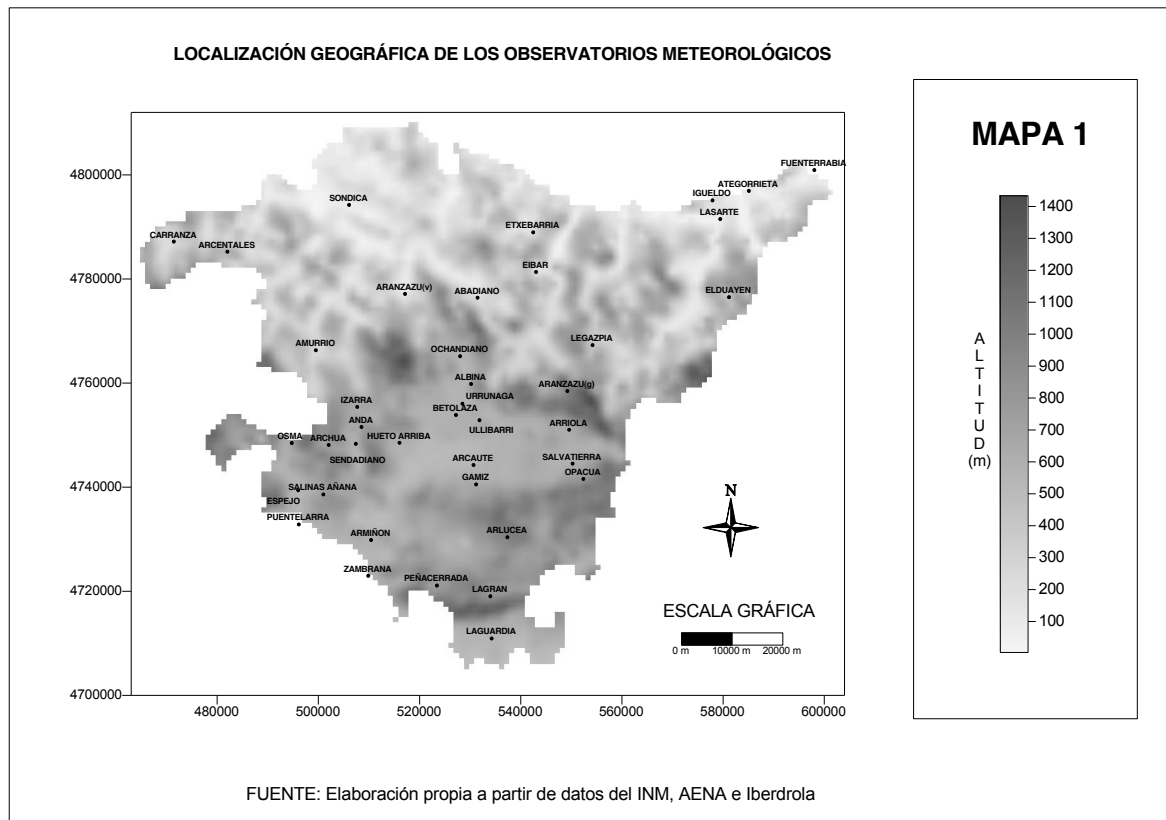


Fig. 1: Mapa de localización de las estaciones meteorológicas

2.1 La calidad de las series

La calidad de los datos registrados en las estaciones se ha visto afectada por diferentes fuentes de errores. La primera de ellas, relacionada con las malas mediciones visuales o con errores de escritura, suele tener carácter puntual y se han identificado fácilmente, tal y como sucede con la precipitación registrada en Ullibarri Gamboa el 15 de marzo de 1974 con 262 mm en un solo día.

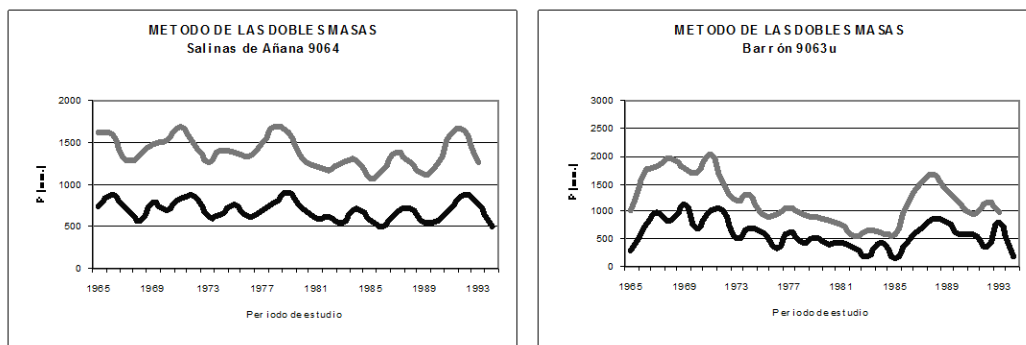


Fig. 2. Curvas acumuladas de precipitación en Salinas de Añana y Barrón

Una segunda fuente de error puede ser debida a la presencia de saltos en la medida o a la ausencia de datos en las series, de forma más o menos prolongada. En esta ocasión se han empleado diferentes curvas acumuladas de la precipitación anual para identificar y valorar este tipo de situaciones. La figura 2a representa la curva acumulada de precipitación en la estación de Salinas de Añana sin incidencia alguna mientras la figura 2b muestra la tendencia inherente en la estación de Barrón.

El tercer criterio de calidad aplicado se encuentra determinado por la precisión de las mediciones registradas. En este sentido, se ha inferido la validez de los datos registrados a partir del empleo del “Método de Precisión Real” (PETROVIC, 1998), según el cual, los redondeos son una de las principales causas de imprecisión en las mediciones manuales. Resulta común el redondeo de los valores de 0 y 5. Se considera que la calidad de los datos es de muy mala precisión cuando el número de estos dos decimales es inferior al 5% o superior a un 75%. En aquellos observatorios de primer orden considerados en el estudio esta falta de precisión se reduce en gran medida tal y como se observa en la figura 3a (Igueldo) mientras en otras estaciones como Escorriaza, figura 3b, el efecto subjetivo de redondeo es claro.

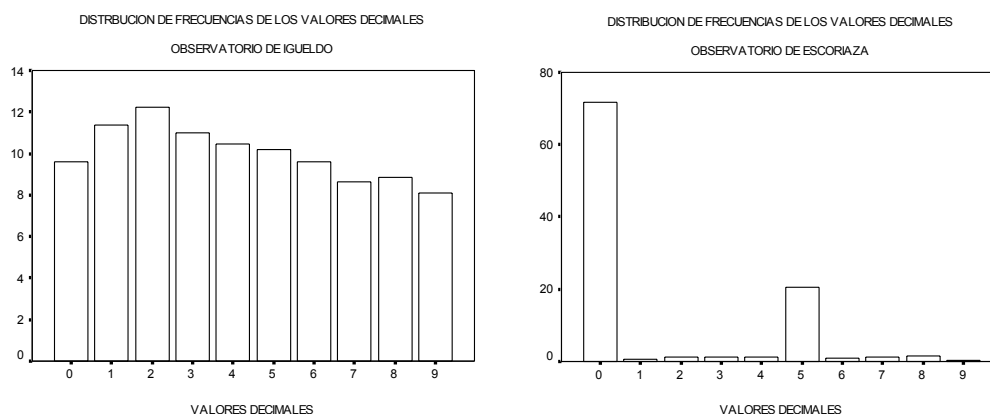


Fig 3. : Índice de precisión real en Escorriaza e Igueldo

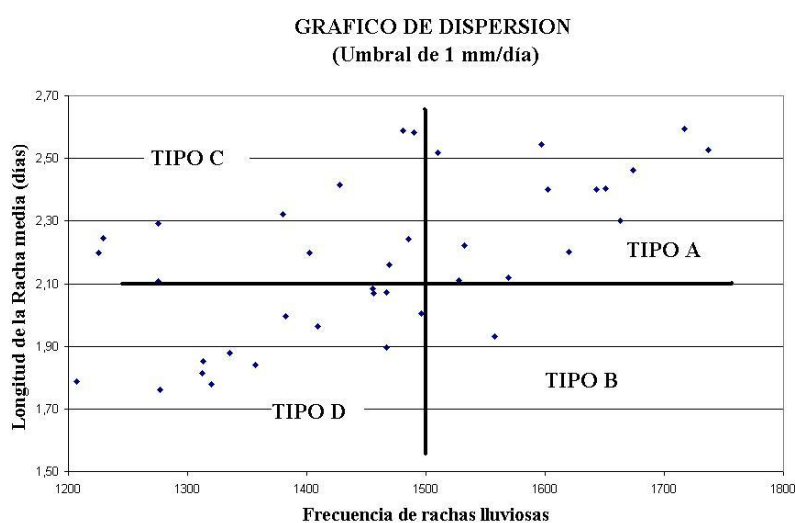
La mayoría de las estaciones registraron volúmenes de datos superiores al 90%. Tan solo Barrón y Escorriaza no superaron el 80 % de datos registrados en sus series. El criterio mantenido a la hora de excluir estaciones han por la mala calidad de sus series ha sido la existencia combinada de una importante ausencia de datos en la serie (más del 20 %) junto a la presencia de tendencias en las curvas acumuladas y la existencia de un excesivo redondeo en sus valores. Este ha sido el caso de tan solo dos estaciones, Escorriaza y Barrón, que han sido excluidas del listado inicial. Las relativamente escasas lagunas presentes en las restantes series no han sido rellenadas dado que, de cara a la definición de rachas lluviosas es necesario conocer si el volumen de precipitación recogido ese día sin dato estuvo por encima o por debajo del umbral en cuestión y la asignaciones de valores basados en volúmenes pequeños podría generar el mismo error que su ausencia en la definición de las rachas.

2.2 Las distribuciones de frecuencias y la disimetría pluviométrica

La propuesta metodológica pasa, en primer término, por la identificación y el cálculo de la frecuencia absoluta y relativa de los diferentes tipos de rachas lluviosas conforme a sus longitudes mediante el software de elaboración propia MK.BAS, calculándose también la longitud de la racha media para cada estación analizada.

El proceso de cálculo se ha desarrollado bajo los tres umbrales de corte diferentes (1, 5 y 10 mm/día). La existencia de un día lluvioso con una precipitación superior o igual a los volúmenes indicados permite considerar el comienzo de una secuencia lluviosa o racha. La duración de esta secuencia se extenderá en el tiempo de forma continua mientras se cumpla la condición señalada. Una vez deja de cumplirse la condición se finaliza la secuencia lluviosa. El tipo de racha vendrá definida por el número de días en que la condición de una precipitación igual o superior al un umbral dado se validó positivamente.

El paso siguiente propone la categorización pluviométrica de cada estación meteorológica a partir de la posición relativa de cada estación con respecto al valor medio del número de secuencias lluviosas y respecto a la longitud de la racha media del conjunto bajo cada umbral de corte. Tal y como muestra el gráfico de dispersión representado en la figura 4, la combinación de estos dos parámetros define cuatro grandes categorías o tipos pluviométricos.



Figuras 4: Gráfico de dispersión de las estaciones

El método de clasificación propuesto es sencillo y puede ser cuestionable su robustez al estar basado en valores medios. En esta ocasión, el interés radica fundamentalmente en el análisis de los cambios que el aumento de los umbrales tiene sobre las categorías de cara a verificar el hecho de que el incremento del umbral generaliza las categorías y potencia la disimetría pluviométrica característica del País Vasco.

El método empleado para la elaboración de los esquemas cartográficos que se presentan en las Figuras 7, 8 y 9 ha sido el vecino más próximo (CRESSIE, 1991). Este método supone que la pérdida de la categoría asignada es mayor conforme nos alejamos del lugar donde se registraron los datos meteorológicos. Si el objetivo fuera la representación de una cartografía climática sería recomendable el empleo de métodos de interpolación analíticos (BOSQUE SENDRA, 1997).

Es necesario señalar que el proceso de representación cartográfico de las categorías no tiene, en esta ocasión, como fin la elaboración de una cartografía climática propiamente dicha dado que las categorías son interpoladas sobre una superficie isotrópica. Resulta conocido el hecho de que factores como el relieve, la exposición o la distancia al mar condiciona en gran medida el comportamiento de la precipitación en la zona de estudio por lo que cualquier intento de

elaboración de cartografías climática debiera apoyarse, por ejemplo, en técnicas de regresión múltiple y métodos geoestadísticos avanzados.

2.3 Probabilidades empíricas y órdenes markovianos

El empleo de diferentes órdenes de modelos markovianos para el ajuste estadístico de las distribuciones empíricas de cada estación resulta mucho más apropiado para el estudio de las secuencias lluviosas. Por ello, el siguiente paso ha consistido en la búsqueda de ajustes entre las distribuciones empíricas y las teóricas markovianas (FDEZ. DE ARROYABE, 2005) validando la bondad del ajuste global de las distribuciones mediante el estadístico del X^2 . Las probabilidades markovianas condicionan la probabilidad de ocurrencia de un día lluvioso, por encima de un umbral dado, a lo acontecido en uno o varios días previos. Cuanto mayor es el orden del modelo aplicado, mayor es el número de días pasados al que se haya condicionada la probabilidad markoviana. Los primeros órdenes ajustados estadísticamente se presentan en forma de tabla para el conjunto de las estaciones analizadas junto a las categorías correspondientes al método de agrupación sencillo basado en valores medios.

3. PRESENTACION DE RESULTADOS

Los resultados que se presentan atienden fundamentalmente al modo en que el incremento del valor de corte ha afectado a las diferentes categorías pluviométricas, al ajuste de las distribuciones empíricas respecto a los modelos probabilísticas y a su distribución espacial.

3.1. Frecuencia de las categorías pluviométricas

Desde un punto de vista general (tabla 1), podemos mencionar que bajo el umbral de 1 mm/día se produce un reparto de las estaciones entre los cuatro grupos bastante homogéneo, destacando el número de localidades en donde el tipo de estructura pluviométrica es A, siendo la estructura C la menos presente en tan sólo un 15,3% de las estaciones.

Umbral	Categoría pluviométrica	Frecuencia	%	% Acumulado
1 mm/día	A	14	35,8	35,8
	B	9	23,0	58,8
	C	6	15,3	74,1
	D	10	25,6	100,0
5 mm/día	A	15	38,4	38,4
	B	5	12,8	51,2
	C	4	10,2	61,4
	D	15	38,4	100,0
10 mm/día	A	17	43,5	43,5
	C	3	7,6	51,2
	D	19	48,7	100,0

Tabla 1. FRECUENCIA DE LOS TIPOS PLUVIOMÉTRICOS, POR UMBRALES DE CORTE.

Bajo el umbral de corte de 5 mm/día se observa un ascenso importante de la estructura del tipo D, gracias al descenso en número experimentado por otros dos tipos de estructuras pluviométricas como la C y, fundamentalmente, la B. Con el umbral de 10 mm/día se produce una mayor simplificación en la distribución de las localidades desapareciendo la categoría pluviométrica del tipo B a favor, principalmente, de la estructura pluviométrica D.

3.2. La distribución espacial de las categorías y la disimetría pluviométrica

A continuación se han desarrollado tres modelos cartográficos en los que se observa con claridad el espacio propio de cada categoría definida. Dada la ausencia de una estación de referencia en la comarca natural de la Rioja Alavesa para la elaboración de los mapas, se ha optado por incorporar la estación de Laguardia, dado que, como ya se ha mencionado, se encuentra ubicada en una zona con una clara personalidad climática, diferente al resto del espacio de transición alavés y por supuesto de la vertiente atlántica de la comunidad vasca.

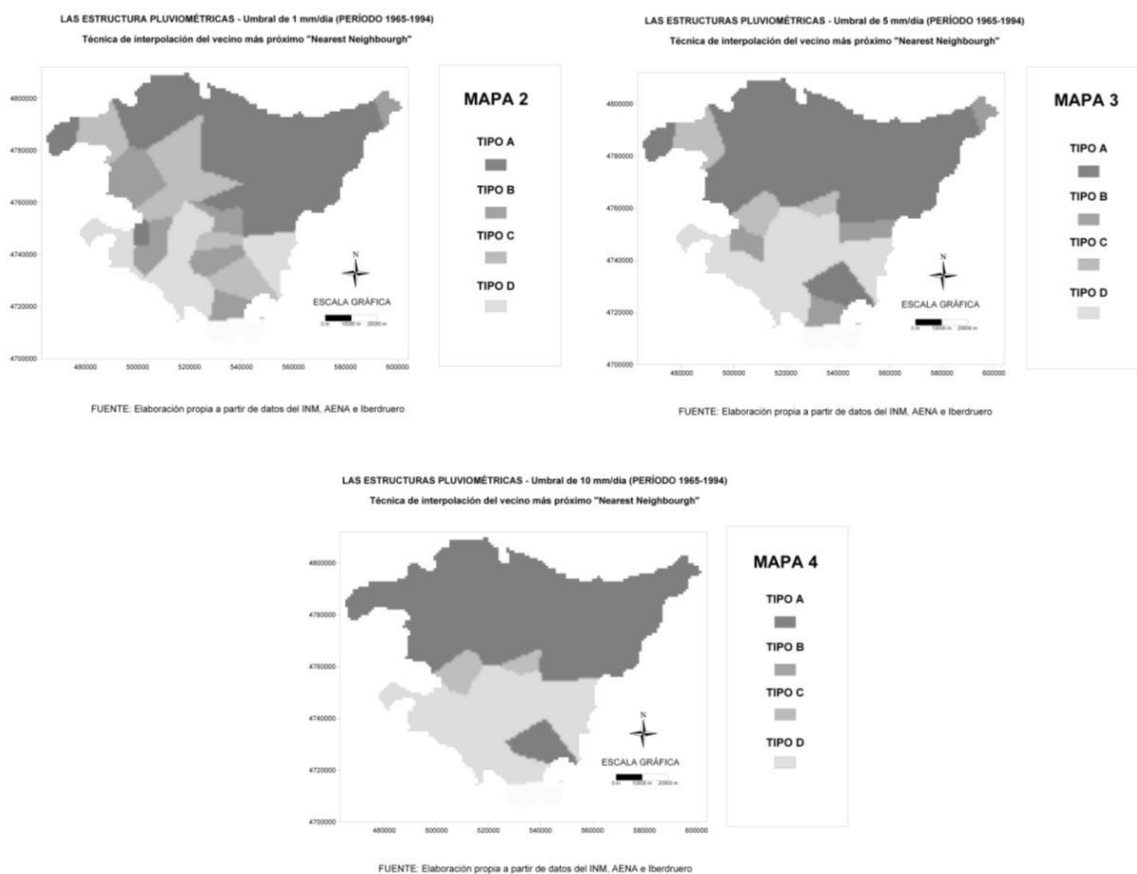


Fig. 5: Regionalización de las categorías pluviométricas definidas a partir de valores medios de número de rachas y de la racha media para los umbrales de 1, 5 y 10 mm/día.

Como puede observarse en la figura 5a, al umbral de 1 mm/día le corresponde un mosaico claramente heterogéneo en cuanto a la distribución de las diferentes estructuras. En la zona Norte y Este de la comunidad predomina el tipo A, caracterizado por la presencia de numerosas secuencias lluviosas con una longitud de su racha media elevada. En el Oeste y centro de la Comunidad Autónoma se alternan, en forma de diagonal, estaciones con los tipos pluviométricos B y C, mientras la estación de Fuenterrabía (tipo B) queda aislada en el extremo Noreste de la comunidad. El tercer gran escenario pluviométrico, tipo D, aparece representado por espacios propios de la zona Sur de la comunidad, de parte de la Llanada y de los Valles alaveses.

Bajo el umbral de 5 mm/día la distribución espacial de las estructuras se simplifica en gran medida, dominando la estructura de tipo A en la vertiente Norte salvo en la zona de Fuenterrabía y Arcentales (figura 5b). También, bajo el umbral de 5 mm/día, aparece el tipo A en la comarca de la Montaña Alavesa. El tipo B se mantiene en zonas tan dispares como Fuenterrabía, Archua, Sendadiano, el sector de Arriola o la zona de Lagrán en la vertiente Norte de la Sierra de Cantabria.

Con el umbral de 10 mm/día la representación cartográfica (figura 5c) adquiere un carácter mucho más sintético perdiendo los matices de diversidad de los dos casos previos. Por ejemplo, el tipo A pasa a dominar toda la vertiente Norte y la comarca natural de la Montaña Alavesa. El resto del territorio aparece caracterizado con una estructura del tipo D, exceptuando las estaciones de Albina, Izarra y Anda, ubicadas en la vertiente Sur de la principal divisoria de aguas.

3.3. Las categorías pluviométricas (EP) y los ajustes markovianos (MK)

En la tabla 2 se presentan los modelos markovianos que ajustan estadísticamente las distribuciones empíricas de las estaciones analizadas.

3.4. La regionalización de los días lluviosos según Markov

Para el umbral de corte de 1 mm/día los espacios ajustados por el primer orden markoviano pertenecen a la zona Sur de la comunidad atendiendo el segundo orden a una distribución irregular y desigual. El ajuste logrado con el tercer orden markoviano será característico de amplios sectores del Nordeste y del Noroeste y en la zona de Albina y Albina, paso natural de la vertiente Norte a la Sur. Tan solo la estación ubicada en Arcentales logra el primer ajuste con un modelo de cuarto orden.

La elevación del umbral de corte a 5 mm/día ha supuesto la pérdida de un orden markoviano quedando simplificada la representación cartográfica a tan solo tres órdenes teóricos. Resulta significativa, bajo este umbral de corte, la presencia del primer orden markoviano en el cuadrante Noroeste de la CAPV, especialmente en el territorio circundante a las estaciones de Arcentales y Sondica. Este espacio era propio de órdenes superiores en el umbral de 1 mm/día. El segundo orden markoviano ejerce como representante teórico del comportamiento de la precipitación en un amplio espacio intermedio del País Vasco bajo el umbral de 5 mm/día. Finalmente, el modelo de tercer orden ocupa predominantemente la zona Nordeste de la comunidad y un amplio espacio próximo a las estaciones de Amurrio e Izarra en el Noroeste de Álava. De forma aislada, también aparece bajo este orden la estación de Arcaute.

DESARROLLO METODOLOGICO PARA EL ANALISIS Y REPRESENTACION CARTOGRAFICA DE LAS RACHAS LLUVIOSAS EN EL PAIS VASCO

LUGAR	Código	1 mm/día		5 mm/día		10 mm/día	
		EP	MK Ajuste	EP	MK Ajuste	EP	MK Ajuste
Fuenterrabía	1014	B	3	B	2	A	2
Ategorrieta	1024	A	3	A	2	A	2
Igueldo	1024e	A	2	A	2	A	1
Sondica	1082	A	3	A	1	A	1
Lasarte	1035	A	3	A	3	A	2
Etxebarria	1053	A	3	A	3	A	3
Carranza	1093	A	3	A	2	A	2
Arcentales	1083	C	4	C	1	A	1
Eibar	1050	A	3	A	2	A	2
Aranzazu(v)	1075e	C	2	A	2	A	2
Elduayen	1031	A	3	A	2	A	5
Abadiano	1070	A	2	A	3	A	2
Legazpia	1037	A	3	A	1	A	2
Amurrio	1060	B	2	A	3	A	1
Ochandiano	9077e	C	3	A	2	A	2
Albina	9078	A	3	C	2	C	3
Aranzazu(g)	1046	A	3	A	2	A	1
Urrunaga	9080	B	3	D	1	D	1
Izarra	9072c	C	2	C	3	C	1
Betolaza	9080c	D	2	D	2	D	1
Ulli. Gamboa	9076	B	2	D	2	D	1
Anda	9072h	B	2	C	2	C	1
Arriola	9074c	A	2	B	1	D	1
Huetto Arriba	9092	D	1	D	1	D	1
Osma	9063o	D	2	D	2	D	1
Sendadiano	9072i	B	3	B	2	D	1
Archua	9072j	A	2	B	1	D	1
Salvatierra	9074	D	2	D	1	D	1
Arcaute	9086	C	3	D	3	D	1
Opacua	9073i	D	1	D	2	D	1
Gamiz	9085i	B	2	D	1	D	1
Espejo	9064i	D	2	D	1	D	1
Salinas Aña.	9064	B	1	D	1	D	1
Puentelarra	9065i	D	2	D	1	D	1
Arlucea	9095e	C	2	A	2	A	1
Armiñón	9094u	D	1	D	1	D	1
Zambrana	9103x	D	1	D	1	D	1
Peñacerrada	9103	D	1	D	1	D	1
Lagran	9175	B	2	B	1	D	1
Laguardia	9146i	D	1	D	1	D	1

Tabla 2. CATEGORÍAS PLUVIOMÉTRICAS Y PRIMEROS ÓRDENES MARKOVIANOS AJUSTADOS

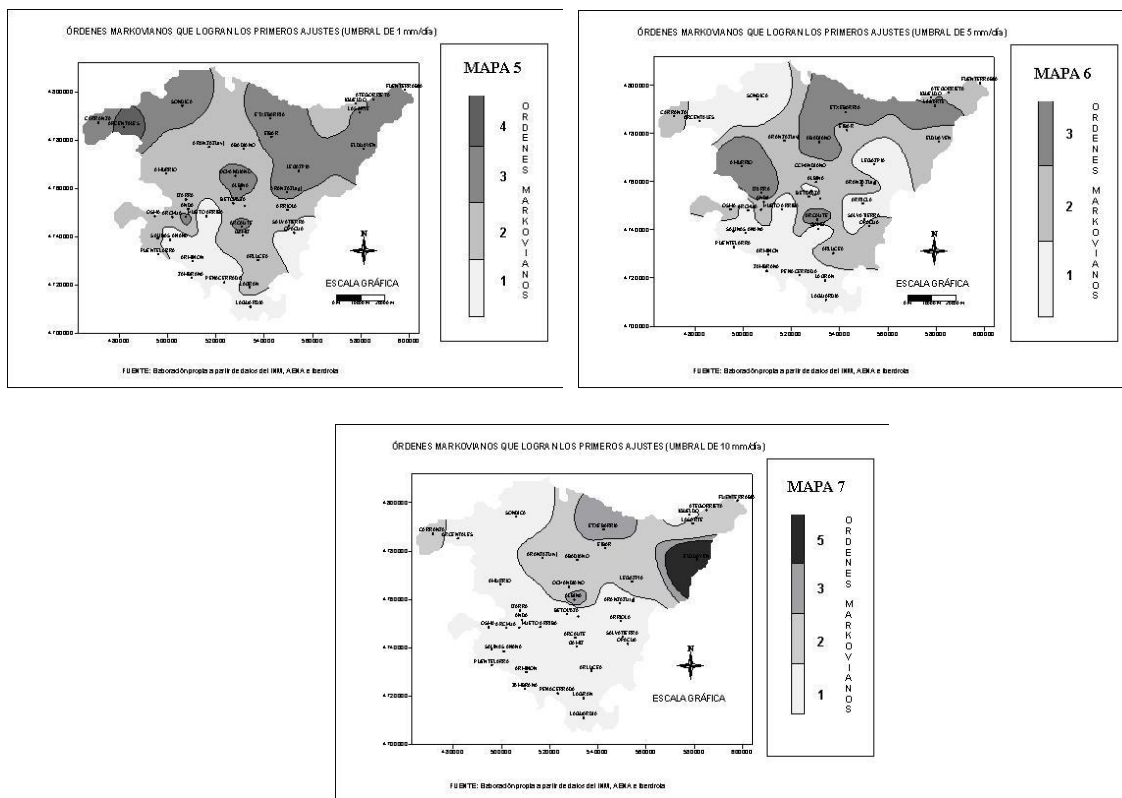


Fig. 6: Regionalización de los órdenes markovianos ajustados para los umbrales de 1, 5 y 10 mm/día.

Una vez elevado el umbral hasta los 10 mm/día se observa una generalización clara del modelo markoviano de primer orden que ocupará la totalidad de la cuenca vertiente mediterránea del País Vasco, un tercio del Oeste del Territorio Histórico de Vizcaya exceptuando el extremo más occidental donde la realidad pluviométrica de Carranza se encuentra ajustada por el modelo teórico de segundo orden y una pequeña zona alrededor del observatorio de Igueldo.

El espacio propio de este segundo modelo markoviano se corresponde, de forma genérica, con los dos tercios orientales de la mitad Norte del País Vasco, salvo en ciertos ámbitos específicos en donde los ajustes teóricos vienen dados por órdenes superiores como sucede en la zona de Etxebarria o Albina, donde el tercer orden resulta efectivo, o en una amplia corola en torno a la zona de Elduayen donde el ajuste viene dado por el modelo de quinto orden.

4. CONCLUSIONES

Desde la perspectiva de la racha como unidad básica de análisis, el paisaje pluviométrico del País Vasco aparece nuevamente definido como altamente contrastado, siendo las particularidades locales las que matizan, en tan reducido espacio, el tránsito de un clima oceánico hacia un clima mediterráneo continentalizado.

La diversidad de los tipos de frecuencias es una característica que se reduce según se aumenta el umbral de corte: la estructura pluviométrica del umbral de 1 mm/día se articula a partir de

26 tipos de rachas diferentes, mientras que en el caso del umbral de 5 mm/día son 15 tipos y para el umbral de 10 mm/día aparecen un total de 11 clases distintas de secuencias lluviosas. A pesar de la mencionada diversidad, el conjunto de rachas lluviosas inferiores a 9 días de duración representan, en los tres supuestos, más del 99% del total.

La amplia variación espacial de las frecuencias de ocurrencia de un mismo tipo de racha responde a la interacción de los factores geográficos y climáticos, correspondiendo, en términos generales, las frecuencias absolutas más elevadas a emplazamientos propios de la vertiente Norte de la comunidad mientras, las frecuencias menores se suelen registrar en la vertiente Sur.

El aumento de los umbrales de corte reduce aritméticamente el número medio de rachas lluviosas por observatorio: para el umbral de 1 mm/día en el periodo 1965-1994 ha sido de 1.463,4 secuencias, siendo rebajado este valor hasta las 1.093,5 rachas cuando nos referimos al umbral de 5 mm/día y hasta las 734,25 rachas con el umbral de 10 mm/día.

El aumento de los umbrales de corte implica una reducción en la diversidad de los tipos de estructuras pluviométricas presentes en la CAPV lo que conlleva la progresiva polarización de la pertenencia de los observatorios meteorológicos hacia las tipologías extremas A y D verificándose claramente la disimetría pluviométrica entre la vertiente Norte y la Sur del País Vasco bajo el umbral de corte más elevado (10 mm/día).

En términos generales es posible señalar que el aumento del umbral de corte reduce el orden del modelo markoviano que primero ajusta estadísticamente con la realidad empírica, habiendo sido necesarios cinco órdenes markovianos para lograr ajustar estadísticamente todas las distribuciones empíricas bajo los tres umbrales de corte.

Las colas de las distribuciones de frecuencias empíricas tienen una importancia significativa en los ajustes encontrados entre lo empírico y lo teórico dado su carácter discontinuo y dispar cuyo efecto incide directamente en los cálculos teóricos de las probabilidades.

Finalmente es posible afirmar la existencia de una correspondencia importante entre las categorías pluviométricas de las estaciones y los órdenes markovianos que ajustan en primer término las distribuciones empíricas de las secuencias lluviosas.

5. REFERENCIAS

- ABAURREA, J., ASÍN, J. y CEBRIAN, A.C. (1994). "Ajuste de modelos estocásticos de lluvia usando GLIM" En: *Actas de las III Jornadas de Zaragoza-Pau de Matemática Aplicada y Estadística*. Universidad de Zaragoza, pp. 27-37
- BOSQUE SENDRA, J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S.A. Alcalá de Henares, Madrid
- CRESSIE, N.A.C. (1991). *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons, New York.
- DELSOLE, T. (2000).. "A Fundamental Limitation of Markov Models" *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 57, nº 13, pp. 2158-2168.
- GÓMEZ NAVARRO, L. (1997). *Regionalización climática de la España Peninsular mediante el análisis markoviano de las sequías*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona (inédita).

- FDEZ. DE ARROYABE, P. (2005). *Persistencia de la precipitación en la CAPV a partir de modelos markovianos. Regionalización mediante SIG*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- GARCÍA CODRON, J.C.; DIEGO LIAÑO, C.; FERNÁNDEZ DE ARROYABE, P.; GARMENDIA, C. y RASILLA, D. (2004). *El Clima, entre el Mar y la Montaña*. AEC-Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, pp. 493-502.
- LANA, X., SERRA, C., BARGUEÑO, A. (2001). "Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain)". *International Journal of Climatology*, 21 (13) : 1669-1691. ISSN: 0899-8418
- LANA, X., FERNANDEZ MILLS, G., BURGEÑO, A. (1995). "Daily precipitation maxima in Catalonia (ne-spain): expected values and their spatial distribution". *International Journal of Climatology*, 15 (3) : 341-354. ISSN: 0899-8418
- LINES ESCARDO, A (1970). "The climate of the Iberian Peninsula". En: *Climates of the Northern and Western Europe*. C.C. Wallen Ed. Elsevier Publishing Company. Amsterdam.
- MARTÍN-VIDE, J. y GÓMEZ NAVARRO, L. (1999): "Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells" *International Journal of Climatology*, nº 19, pp. 537-555.
- MATEO GONZALEZ, P. (1965). *Distribución de las frecuencias de las cantidades de precipitación en el Norte de España*. Servicio Meteorológico Nacional, Publicaciones Serie A (Memorias), nº 39, Madrid.
- MATEO GONZALEZ, P. (1965). *Persistencia de los días con precipitación y sin precipitación en Gijón*. Servicio Meteorológico Nacional. Publicaciones Serie A (Memorias), nº 40, Madrid.
- PEREZ MANRIQUE, C. (1984). "Estudio de las rachas secas y lluviosas en Gijón y San Sebastián" *Revista de Geofísica*, nº 40, pp. 73-80.
- PETROVIC, (1998) On line <http://www.met.hu/omsz.php>
- RASO, J.M. (1982) "Probabilidades de transición y distribución estacionaria de los días con y sin precipitación en Palma de Mallorca según el modelo de las cadenas de Markov para dos estados" *Tarraco, Cuadernos de Geografía*, pp. 195-209.
- RASILLA, D. (2003) "Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la Península Ibérica". *Investigaciones Geográficas*, nº 30, pp. 27-45.
- RUIZ URRESTARAZU, E. (1982). *La transición climática del Cantábrico oriental al valle medio del Ebro*. Diputación Foral de Álava, Vitoria-Gasteiz.
- SANSOM, J. (1998). "A Hidden Markov Model for Rainfall Using Breakpoint Data" *Journal of Climate*, Vol. 11, nº 1, pp. 42-53.
- URIARTE, A. (1983). *Régimen de precipitaciones en la costa NW y N de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral. Caja de Ahorros Provincial de Guipúzcoa, San Sebastián.
- WEISS, L.L. (1964). "Sequences of wet or dry days described by a Markov chain probability model" *Monthly Weather Review*, Vol. 92, nº 4, pp. 169-176.
- XUE, Y., LEETMAA, A. y JI, M. (2000). "ENSO Prediction with Markov Models: The Impact of Sea Level" *Journal of Climate*, Vol. 13, nº 4, pp. 849-871.