
CAPÍTULO VII

LA REALIDAD MARKOVIANA EN EL PAÍS VASCO

1. LOS MODELOS MARKOVIANOS APLICADOS A LA PRECIPITACIÓN

1.1. La formulación teórica de las probabilidades markovianas

Los modelos markovianos se apoyan en la idea de persistencia definiendo este concepto de forma probabilística. Las Cadenas de Markov parten del supuesto teórico de que la probabilidad de que un día sea lluvioso depende de cómo fue el día anterior o los días precedentes, y calculan la probabilidad markoviana (P_n) de que una secuencia lluviosa dure n días.

Según se aumenta la dependencia de los días anteriores, se incrementa el orden del modelo. Para poder realizar este cálculo resulta necesario estimar las probabilidades empíricas de los diferentes tipos de enlaces (ver apartado previo) que se encuentran presentes en las series de datos dicotomizadas. La letra p representará las probabilidades empíricas de cada tipo de enlace.

Cuanto mayor es el orden del modelo aplicado mayor es el número de días pasados al que se haya condicionada la probabilidad markoviana, (P_n). En esta ocasión se ha aplicado el modelo hasta el quinto orden.

El modelo de primer orden condiciona la probabilidad de un día lluvioso al hecho de que el día precedente fuera también lluvioso. La formulación matemática que le corresponde es la siguiente:

$$P_n = p(11)^{n-1} * p(10) \text{ siendo } n \geq 1$$

En esta ocasión se omite el primer factor de la fórmula $p(01)$ dado que cualquier racha lluviosa debe empezar con un día seco para tener dicha condición, por lo que la probabilidad de la transición citada es siempre uno.

La probabilidad markoviana de que una racha dure un solo día P_1 vendrá definida directamente por la probabilidad $p(10)$ al tomar, en esta ocasión, el resultado del cálculo de $p(11)^{n-1}$ el valor de la unidad, al tratarse este factor de una potencia elevada a la cero.

De este modo, la aplicación del cálculo se desarrollará del modo siguiente:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= p(10) \\
 P_2 &= p(11) * p(10) \\
 P_3 &= p(11)^2 * p(10) \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

El modelo de segundo orden condiciona la probabilidad de que un tercer día sea lluvioso en una racha, a la existencia previa de dos días lluviosos. Su expresión matemática es la siguiente:

$$P_n = p(011) * p(111)^{n-2} * p(110) \text{ siendo } n \geq 2$$

En este orden markoviano es necesario identificar el número de enlaces del tipo 011 y su probabilidad empírica con respecto a los enlaces del tipo 01. Igualmente deberemos contar el número de enlaces del tipo 111 y del tipo 11 para poder determinar la probabilidad de que llueva un tercer día seguido, si los dos días previos han sido considerados como lluviosos. Por último, nos encontramos en la obligación de calcular las ocurrencias del enlace 110 para determinar su probabilidad empírica con respecto al número de ocasiones en que hubo dos días consecutivos lluviosos.

La probabilidad markoviana de una racha de un solo día bajo este segundo orden se corresponde con la probabilidad empírica de ocurrencia de una racha de un solo día, que coincidirá con:

$$P_1 = 1 - p(011)$$

El cálculo de la probabilidad markoviana de una racha de dos días bajo el modelo de segundo orden tomará el valor de la siguiente formulación:

$$P_2 = p(011) * p(110)$$

El cálculo de una secuencia de tres días de lluvia bajo el modelo de segundo orden se obtendrá mediante la aplicación de la siguiente formulación:

$$P_3 = p(011) * p(111) * p(110)$$

La secuencia de cuatro días será calculada a partir de:

$$P_4 = p(011) * p(111)^2 * p(110)$$

y así sucesivamente según aumenta la longitud de la racha cuya probabilidad queremos estimar.

El *modelo de tercer orden* condiciona la probabilidad de un cuarto día lluvioso en una racha a la existencia previa de 3 días lluviosos

Para aplicar correctamente el modelo markoviano de tercer orden, resulta necesario identificar por un lado el número de enlaces del tipo 0111 que se dan en la serie. Por otro, contabilizar los enlaces 1111 y finalmente señalar cuantos enlaces del tipo 1110 hay registrados en nuestra serie dicotomizada.

Un segundo paso consistirá en el cálculo de las probabilidades (**p**) de ocurrencia de cada uno de estos tres tipos de enlaces. A partir de ellas aplicaremos el modelo que viene expresado en esta ocasión mediante la siguiente formulación:

$$P_n = p(0111) * p(1111)^{n-3} * p(1110) \text{ siendo } n \geq 3$$

Al aumentar el orden del modelo estamos aumentando su memoria y por lo tanto condicionando la probabilidad de ocurrencia de un día de lluvia a un mayor número de días pasados, en este caso, a tres días pretéritos.

A partir del tercer orden, el modelo deja algunos factores empíricos fuera del mismo. El aumento del orden del modelo nos impide estimar la probabilidad de las secuencias más cortas, como las de un día de duración.

Será por ello por lo que las probabilidades empíricas de cada tipo de racha han sido recalculadas, extrayendo esos mismos elementos del cálculo empírico, para poder comparar posteriormente, de forma adecuada, los resultados empíricos con los markovianos.

Por ejemplo, en el caso del modelo de tercer orden el cálculo de la probabilidad markoviana prescinde de las rachas de un solo día al estar condicionando el cálculo de la probabilidad de un cuarto día de lluvia a lo que sucedió los tres días anteriores. Es por ello por lo que es necesario recalcular las probabilidades empíricas de cada tipo de secuencia lluviosa al tener que extraer del conjunto las rachas de un día de duración.

Este mismo hecho ha sido considerado cada vez que se ha calculado un orden superior con el fin de evitar realizar comparaciones entre resultados obtenidos a partir de un diferente número de factores.

Cuanto mayor es el orden del modelo mayor es el condicionamiento a que se ven sometidos los resultados, llegando a un punto en donde las probabilidades obtenidas pierden significado dado que, si las longitudes de las rachas son cortas (umbral de 10 mm/día), los modelos de órdenes muy elevados carecen de sentido al condicionar las probabilidades calculadas a una memoria que puede ser, incluso, superior a la longitud de las propias secuencias empíricas.

La probabilidad markoviana de una racha de dos días a partir del modelo de tercer orden se corresponderá con la probabilidad complementaria a p (0111), es decir, con la probabilidad empírica de una racha de dos días una vez recalculada para este orden del modelo.

$$P_2 = 1 - p(0111)$$

Con respecto al cálculo de la probabilidad markoviana de las secuencias lluviosas de tres días de duración, su estimación vendrá definida por dos factores del modelo, al tomar el tercer factor el valor de la unidad.

$$P_3 = p(0111) * p(1110)$$

A partir de aquí, el cálculo de las probabilidades markovianas de secuencias de cuatro, cinco, seis o más días se obtendrá de la aplicación estricta del modelo propuesto mediante la iteración del segundo factor.

$$P_4 = p(0111) * p(1111) * p(1110)$$

$$P_5 = p(0111) * p(1111)^2 * p(1110)$$

Los modelos de órdenes superiores mantienen la misma dinámica que lo expuesto para el modelo de tercer orden.

Una vez comprendida la formulación matemática de los modelos markovianos y la metodología de trabajo, el siguiente paso ha consistido en el conteo de los diferentes enlaces y el cálculo de las probabilidades, tanto empíricas como markovianas de los diferentes órdenes.

El cálculo de las probabilidades markovianas muestra el comportamiento teórico de la precipitación suponiendo que la probabilidad de ocurrencia de

un día de lluvia por encima de un umbral determinado se encuentra condicionada por lo que sucedió en uno o varios días pasados.

De este modo, los valores numéricos resultantes de la aplicación de los diferentes órdenes markovianos expresan la probabilidad teórica de ocurrencia de secuencias lluviosas de una determinada longitud en función del carácter lluvioso de un número de días previos.

Los resultados correspondientes a las probabilidades markovianas bajo los diferentes umbrales pueden ser consultados en el apartado referente a las Probabilidades Markovianas dentro del *Anexo Digital*.

1.2. Las frecuencias teóricas absolutas

El siguiente paso ha consistido en estimar las frecuencias teóricas absolutas de cada tipo de racha y orden markoviano, empleando para ello los valores de probabilidad markovianos y los totales de rachas empíricas aplicables a cada uno de los modelos.

Los modelos teóricos estiman las frecuencias absolutas para cada tipo de rachas lluviosa, incluidas aquellas cuyas frecuencias empíricas han sido nulas.

A la hora del desarrollo de los cálculos sobre los diferentes umbrales nos hemos encontrado con dos hechos significativos y complementarios:

Por un lado, está claro que el aumento del umbral de corte implica un descenso en la variedad de tipos de rachas mientras, por otro lado, el aumento del orden del modelo impide el cálculo de secuencias lluviosas cortas al condicionarse el mencionado cálculo a lo que sucedió en n días pasados.

Esta circunstancia adquiere una relevancia extrema bajo el umbral de 10 mm/día dándose situaciones en las que aparecen observatorios con tan sólo cinco tipos de rachas (dos de ellas con una única frecuencia absoluta) siendo imposible el desarrollo de análisis sobre órdenes elevados de forma adecuada. De este modo, se produce una especie de *efecto embudo* de cara a la aplicación de los modelos más elevados, sobre todo, en los observatorios meteorológicos de la vertiente Sur de la comunidad o en aquellos donde la longitud máxima de las rachas alcanza muy pocos días.

Esta es una de las razones por la que el análisis de las colas de las distribuciones se realiza únicamente para el primero de los umbrales de corte.

Los resultados obtenidos, más de 100 tablas, pueden ser consultados en el apartado de Probabilidades Markovianas dentro del *Anexo Digital*. adjunto Los contenidos de las tablas nos ofrecen la posibilidad de valorar los resultados de dos formas diferenciadas:

- La primera, atendiendo a los ajustes individuales de los valores de cada tipo de secuencia lluviosa para con cada orden markoviano. En este sentido se ha buscado una forma sencilla de representar gráficamente los órdenes que mejor estiman, de forma absoluta, los diferentes tipos de rachas de hasta 10 días de duración. Cada gráfico presenta en su eje de abscisas el tipo de secuencia lluviosa y en su eje de ordenadas el orden del modelo que mejor se ha ajustado a las frecuencias absolutas empíricas. Cuando dos órdenes diferentes han coincidido en el cálculo teórico se ha optado por representar el orden más bajo.
- La segunda, refiriéndonos al ajuste global de cada modelo teórico con relación al conjunto de la distribución de secuencias empíricas

correspondiente. La bondad de este tipo de ajuste será evaluada a partir del estadístico X^2 .

En la parte dedicada en este capítulo a la presentación de los resultados se muestran, a modo de ejemplo, los valores correspondientes a las frecuencias teóricas absolutas de la estación de Carranza (Código 1093) para los tres umbrales de corte y los gráficos propios de los ajustes individuales. También se aportan una serie de comentarios interpretativos para facilitar la lectura de las tablas de resultados, teniendo en cuenta que estas tablas no dejan de ser un paso intermedio de cara a la valoración definitiva de la bondad de los ajustes de los modelos con respecto al hecho empírico analizado.

1.3. La bondad del ajuste global de las distribuciones

La forma de confirmar la bondad de los ajustes entre los modelos markovianos y las distribuciones empíricas de probabilidad ha sido mediante el estadístico *Chi cuadrado* X^2 . El cálculo del estadístico se ha desarrollado para los resultados obtenidos bajo los tres umbrales con un nivel de significación del 0,05 y para $n - 1$ grados de libertad, a partir de la siguiente formulación:

$$X^2 = \sum ((F_o - F_t)^2 / F_t)$$

siendo

F_t = Frecuencias teóricas

F_o = Frecuencias observadas

En ciertas ocasiones ha resultado necesaria la agregación de diferentes categorías de secuencias en una misma, hasta alcanzar la necesaria cifra de cinco efectivos para poder aplicar correctamente la prueba.

De este modo, podremos conocer la bondad general del ajuste de cada observatorio a los diferentes modelos markovianos considerados, confirmándose o rechazándose, para cada orden, la hipótesis inicial según la cual la precipitación registrada se ajusta, en mayor o menor grado, a la definición teórica de persistencia enunciada por Markov.

Debemos entender que cuanto más pequeño sea el estadístico X^2 , más elevada será la probabilidad de que pertenezca a la región de aceptación de la distribución y en consecuencia de que sea aceptada la hipótesis nula.

A partir de este estadístico, se han identificado los primeros órdenes markovianos que se ajustan a la realidad empírica de cada observatorio.

Se ha estimado interesante analizar también el papel que las colas de la distribución han tenido en la bondad de los ajustes encontrados, dado que, en muchas ocasiones son las rachas más longevas las que impiden el buen encuentro entre lo empírico y lo teórico. Tal atención es justificable climáticamente por el interés propio de las rachas o periodos lluviosos largos.

En ocasiones, este mal ajuste es debido a la existencia de categorías con frecuencias nulas. Otras veces las estimaciones teóricas realizadas con respecto a las colas de distribución sobreestiman o subestiman la realidad empírica. Por todo ello, es recomendable tratar de determinar el posible impacto que las colas han podido tener sobre los ajustes finales. Esta tarea se ha desarrollado únicamente para los resultados del umbral de 1 mm/día.

Además se han examinado otros posibles malos ajustes obtenidos por algunos tipos de secuencias que no se encuentran ubicadas en las colas de distribución con el fin de valorar el impacto que los mismos tienen sobre los ajustes globales.

A continuación, se han confeccionado una serie de gráficos que representan las colas de la distribución de frecuencias para cada uno de los primeros ajustes obtenidos entre las distribuciones empíricas y los órdenes markovianos bajo el umbral de 1 mm/día. En estos gráficos se puede observar el número de frecuencias absolutas de las *secuencias largas y muy largas* registradas para el observatorio en cuestión.

Con ello se ha tratado de analizar la coherencia existente en la forma de las colas de las distribuciones de frecuencias para aquellos observatorios que han sido ajustados por el mismo orden markoviano.

1.4. Modelos markovianos versus estructuras y regímenes pluviométricos

A continuación se han puesto en relación los órdenes markovianos con respecto a las estructuras pluviométricas identificadas en la CAPV y los regímenes pluviométricos propios de cada estación meteorológica de cara a señalar el grado de coherencia de los resultados obtenidos.

Una vez determinados los primeros ajustes markovianos para los distintos umbrales de corte y, de cara a poder confirmar la idea de que la presencia de una estructura pluviométrica y un régimen pluviométrico comparten relación con el orden markoviano que primero ajusta las distribuciones de probabilidad empíricas se ha planteado la reducción de los datos mediante un análisis factorial empleando como método de extracción de factores un análisis de componentes principales.

1.5. Regionalización de la persistencia conforme a Markov

Una vez determinada la bondad general del ajuste de cada modelo a la realidad de cada observatorio, se ha decidido regionalizar este hecho a partir de los ordenes markovianos que primero han ajustado.

En esta ocasión, tras haber aplicado diferentes técnicas geoestadísticas nos hemos apoyado en la técnica IDW suavizada al suponer que el tránsito de un orden a otro tiene un comportamiento continuo en el espacio.

La regionalización de los órdenes markovianos que primero ajustan a la realidad empírica se presenta mediante mapas en donde diferentes isolíneas permiten discretizar en el espacio el tránsito de la región propia de un orden a la de otro modelo teórico diferente.

2. APLICACIÓN DE LOS MODELOS MARKOVIANOS AL ANÁLISIS DE LA PERSISTENCIA EN EL PAIS VASCO

2.1. Aplicación de Markov a las estaciones meteorológicas vascas

Los resultados calculados para los cinco modelos markovianos se encuentran recogidos en el apartado markoviano del *Anexo Digital*. A modo de ejemplo, se presentan a continuación las probabilidades markovianas correspondiente a la estación de Carranza, bajo los tres umbrales de corte.

En la columna derecha de las tablas aparece indicado el tipo de racha o secuencia lluviosa mientras en las columnas de la izquierda se indican las probabilidades estimadas por los cinco primeros órdenes markovianos.

Una lectura horizontal de las tablas nos muestran como, de forma generalizada, para un mismo tipo de racha, el valor de la probabilidad markoviana aumentan con la elevación del orden del modelo.

Esto es algo que sucede bajo los tres umbrales y es consecuencia directa del propio enunciado teórico del modelo que condiciona ese valor de probabilidad a lo que sucedió desde un punto de vista pluviométrico en los n días pasados.

Cuanto mayor es el orden del modelo, más memoria se requiere para el cálculo por lo que las estimaciones de las secuencias más cortas desaparecen. Si realizamos una lectura vertical de los resultados nos encontramos con que, para un mismo orden, la probabilidad markoviana decrece siempre en función de la longitud de la racha.

En esta ocasión el cálculo de la probabilidad se encuentra asociado directamente a la iteración de uno de los factores del modelo. La progresiva elevación de ese factor a exponentes cada vez más elevados hace decrecer también, en términos generales, el valor de la probabilidad.

En todos los casos la suma de las probabilidades markovianas calculadas bajo cada orden debe tender siempre hacia la unidad.

Tabla 26. PROBABILIDADES MARKOVIANAS EN LA ESTACIÓN DE CARRANZA, bajo el umbral de 1 mm/día

MK 1 ORD	MK 2 ORD	MK 3 ORD	MK 4 ORD	MK 5 ORD	TIPO RACHA
0,396951	0,445695				1
0,239381	0,202246	0,4348865			2
0,144358	0,128454	0,183458	0,327696		3
0,087055	0,081585	0,123900	0,217269	0,330189	4
0,052499	0,051818	0,083677	0,147054	0,214219	5
0,031659	0,032911	0,056512	0,099531	0,145707	6
0,019092	0,020903	0,038166	0,067365	0,099107	7
0,011513	0,013276	0,025776	0,045595	0,067411	8

0,006943	0,008432	0,017408	0,030860	0,045852	9
0,004187	0,005356	0,011757	0,020887	0,031187	10
0,002525	0,003402	0,007940	0,014137	0,021213	11
0,001523	0,002160	0,005362	0,009568	0,014429	12
0,000918	0,001372	0,003622	0,006476	0,009814	13
0,000554	0,000872	0,002446	0,004383	0,006675	14
0,000334	0,000554	0,001652	0,002967	0,004540	15
0,000201	0,000352	0,001116	0,002008	0,003088	16
0,000121	0,000223	0,000753	0,001359	0,002101	17
0,000073	0,000142	0,000509	0,000920	0,001429	18
0,000044	0,000090	0,000344	0,000623	0,000972	19
0,000027	0,000057	0,000232	0,000421	0,000661	20
0,000016	0,000036	0,000157	0,000285	0,000450	21
0,999976	0,999937	0,999674	0,999403	0,999044	TOTAL

Tabla 27. PROBABILIDADES MARKOVIANAS EN LA ESTACIÓN DE CARRANZA, bajo el umbral de 5 mm/día

MK 1 ORD	MK 2 ORD	MK 3 ORD	MK 4 ORD	MK 5 ORD	RACHAS TIPO
0.503823	0.543845				1
0.249985	0.211284	0.4935305			2
0.124037	0.113421	0.221328	0.427007		3
0.061544	0.060886	0.124607	0.254844	0.382166	4
0.030537	0.032684	0.070154	0.141500	0.305765	5
0.015152	0.017546	0.039496	0.078566	0.154443	6
0.007518	0.009419	0.022236	0.043623	0.078009	7
0.003730	0.005056	0.012519	0.024221	0.039403	8
0.001851	0.002714	0.007048	0.013449	0.019902	9
0.000918	0.001457	0.003968	0.007467	0.010053	10
0.000456	0.000782	0.002234	0.004146	0.005078	11
0.000226	0.000420	0.001258	0.002302	0.002565	12
0.000112	0.000225	0.000708	0.001278	0.001295	13
0.999890	0.999739	0.999088	0.998404	0.998678	TOTAL

Tabla 28. PROBABILIDADES MARKOVIANAS EN LA ESTACIÓN DE CARRANZA, bajo el umbral de 10 mm/día

MK 1 ORD	MK 2 ORD	MK 3 ORD	MK 4 ORD	MK 5 ORD	RACHAS TIPO
0.608571	0.636150				1
0.238212	0.205827	0.59032258			2

0.093243	0.089392	0.218609	0.503937		3
0.036498	0.038824	0.101956	0.281549	0.523810	4
0.014286	0.016861	0.047551	0.121751	0.297619	5
0.005592	0.007323	0.022177	0.052649	0.111607	6
0.002189	0.003180	0.010343	0.022767	0.041853	7
0.000857	0.001381	0.004824	0.009845	0.015695	8
0.000335	0.000600	0.002250	0.004257	0.005886	9
0.999784	0.999539	0.998034	0.996756	0.996469	TOTAL

2.2. Confrontación de las frecuencias teóricas y empíricas

Como avanzamos en el apartado metodológico, a continuación se presentan, a modo de ejemplo, los resultados correspondientes a las frecuencias teóricas absolutas de la estación de Carranza para los diferentes umbrales, pudiendo ser consultados los resultados del resto de estaciones en las Tablas de Frecuencias Teóricas Absolutas del *Anexo Digital*

En esta ocasión, la información se encuentra organizada en las tablas de la siguiente forma. En la columna izquierda se indica el número de secuencias lluviosas registradas y en la columna de la derecha el tipo de racha.

Tabla 29. FRECUENCIAS ABSOLUTAS TEÓRICAS EN CARRANZA (1093), bajo el umbral de 1 mm/día

RACHAS	TOTAL	1510	837	473	318	TIPO
EMPI	Nº R_MK 1	Nº R_MK 2	Nº R_MK 3	Nº R_MK 4	Nº R_MK 5	RACHA
673	599,40	673,00				1
364	361,47	305,39	364,00			2
155	217,98	193,97	153,55	155,00		3
105	131,45	123,19	103,70	102,77	105,00	4
68	79,27	78,24	70,04	69,56	68,12	5
54	47,81	49,70	47,30	47,08	46,33	6
25	28,83	31,56	31,95	31,86	31,52	7
23	17,39	20,05	21,57	21,57	21,44	8
12	10,48	12,73	14,57	14,60	14,58	9
10	6,32	8,09	9,84	9,88	9,92	10
6	3,81	5,14	6,65	6,69	6,75	11
6	2,30	3,26	4,49	4,53	4,59	12
1	1,39	2,07	3,03	3,06	3,12	13

1	0,84	1,32	2,05	2,07	2,12	14
2	0,50	0,84	1,38	1,40	1,44	15
0	0,30	0,53	0,93	0,95	0,98	16
1	0,18	0,34	0,63	0,64	0,67	17
3	0,11	0,21	0,43	0,44	0,45	18
0	0,07	0,14	0,29	0,29	0,31	19
0	0,04	0,09	0,19	0,20	0,21	20
1	0,02	0,05	0,13	0,13	0,14	21
	1509,96	1509,90	836,73	472,72	317,70	TOTAL

En las columnas centrales se encuentran las estimaciones teóricas del número de secuencias lluviosas para cada uno de los órdenes markovianos, teniendo como referencia en la fila superior el total de rachas empíricas propias de cada modelo. La fila inferior de las tablas representa el número de secuencias teóricas acumuladas para cada modelo.

Una de las primeras cuestiones que llaman la atención al observar los resultados es el hecho de que la suma global de las rachas teóricas en cada modelo se aproxima, en gran medida, a los valores empíricos en las tres tablas. Sin embargo, también dentro de cada modelo y umbral, la precisión del cálculo del número de rachas teóricas puede diferir ampliamente entre unos tipos de secuencias y otras.

Por ejemplo, si nos fijamos en la tabla anterior, nos encontramos con que el modelo de primer orden se queda corto a la hora de calcular el número de secuencias de once días de duración mientras que la estimación del modelo de quinto orden se excede sobre mencionada realidad empírica.

Es por ello por lo que se hace necesaria la validación de los ajustes globales, de forma relativa, para poder determinar cual es el orden que mejor define la distribución de frecuencias empíricas en su conjunto para cada observatorio.

Igualmente, otro aspecto a tener en cuenta consiste en señalar el orden que mejor estima el número de secuencias de un tipo de racha específico en términos absolutos.

En ese sentido bastaría con revisar nuevamente la tabla y comparar directamente los valores teóricos y los empíricos. El mejor orden, en términos absolutos, para estimar una secuencia de once días de duración en este supuesto será el modelo markoviano de tercer orden.

Con la intención de facilitar la lectura de este tipo de ajustes absolutos se han elaborado una serie de gráficos que son expuestos para todo el conjunto de los observatorios meteorológicos en el capítulo dedicado al análisis individualizado de cada estación meteorológica.

**Tabla 30. FRECUENCIAS ABSOLUTAS TEÓRICAS EN CARRANZA (1093),
bajo el umbral de 5 mm/día**

RACHAS EMPI	TOTAL Nº R_MK 1	1186 Nº R_MK 2	541 Nº R_MK 3	274 Nº R_MK 4	157 Nº R_MK 5	TIPO RACHA
645	597.53	645.00				1
267	296.48	250.58	267.00			2
117	147.11	134.52	119.74	117.00		3
60	72.99	72.21	67.41	69.83	60.00	4
46	36.22	38.76	37.95	38.77	48.01	5
26	17.97	20.81	21.37	21.53	24.25	6
16	8.92	11.17	12.03	11.95	12.25	7
2	4.42	6.00	6.77	6.64	6.19	8
4	2.20	3.22	3.81	3.68	3.12	9
1	1.09	1.73	2.15	2.05	1.58	10
1	0.54	0.93	1.21	1.14	0.80	11
0	0.27	0.50	0.68	0.63	0.40	12
1	0.13	0.27	0.38	0.35	0.20	13
	1185.87	1185.69	540.51	273.56	156.79	TOTAL

**Tabla 31. FRECUENCIAS ABSOLUTAS TEÓRICAS EN CARRANZA (1093),
bajo el umbral de 10 mm/día**

RACHAS EMPI	TOTAL Nº R_MK 1	852 Nº R_MK 2	310 Nº R_MK 3	127 Nº R_MK 4	63 Nº R_MK 5	TIPO RACHA
542	518.50	542.00				1
183	202.96	175.36	183.00			2
64	79.44	76.16	67.77	64.00		3
33	31.10	33.08	31.61	35.76	33.00	4
18	12.17	14.37	14.74	15.46	18.75	5
8	4.76	6.24	6.87	6.69	7.03	6
3	1.86	2.71	3.21	2.89	2.64	7
0	0.73	1.18	1.50	1.25	0.99	8
1	0.29	0.51	0.70	0.54	0.37	9
	851.82	851.61	309.39	126.59	62.78	TOTAL

2.3. La bondad de los primeros ajustes a los modelos markovianos

De acuerdo con las tablas de Chi-cuadrado las bondades generales de los cinco modelos aplicados permiten ajustar los observatorios bajo los tres umbrales de corte analizados. Los resultados detallados de los cálculos del estadístico para los cinco órdenes markovianos y el conjunto de observatorios se recogen en el apartado del estadístico X^2 del *Anexo Digital*.

La **tabla 32** presenta una síntesis de cómo ha evolucionado el número de primeros ajustes para cada orden markoviano, por cada umbral de corte analizado. Parece claro que el aumento del umbral de corte propicia los ajustes con órdenes markovianos inferiores al perder persistencia el meteoro en cuestión.

**Tabla 32. NÚMERO DE OBSERVATORIOS AJUSTADOS,
por orden markoviano y por umbral de corte**

Umbral	ORDEN 1	ORDEN 2	ORDEN 3	ORDEN 4	ORDEN 5
1 mm/día	6	18	15	1	
5 mm/día	17	17	6		
10 mm/día	28	9	2		1

Es necesario señalar el hecho de que una estación puede dejar de ajustarse a un modelo inferior o superior por muy pocas décimas por lo que, en algunas ocasiones, una pequeña variación de su estructura pluviométrica puede alterar el orden del ajuste logrado en un sentido u otro. Por ello debemos de evitar interpretaciones rígidas con respecto a la asignación de modelos teóricos a cada una de las distribuciones de frecuencias empíricas de los observatorios.

También es preciso señalar que el análisis de la bondad de los ajustes se ha centrado en el umbral más bajo por ser éste, el que más posibilidades ofrece, dada la mayor cantidad y longitud de secuencias lluviosas del mismo.

a) Umbral de 1 mm/día

En la **tabla 33** se presentan los ajustes encontrados para las estructuras pluviométricas definidas a partir del umbral de corte de 1 mm/día señalándose en ella los principales ajustes.

Tabla 33. AJUSTES ACEPTABLES DE LOS MODELOS MARKOVIANOS PARA EL UMBRAL DE 1 mm/día, por estaciones

Estación	Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5
FUENTERRABIA					
ATEGORRIETA					
IGUELDO					
SONDICA					
LASARTE					
ETXEBARRIA					
CARRANZA					
ARCENTALES					
EIBAR					
ARANZAZU (v)					
ELDUYEN					
ABADIANO					
LEGAZPIA					
AMURRIO					
OCHANDIANO					
ALBINA					
ARANZAZU (g)					
URRUNAGA					
IZARRA					
BETOLAZA					

ULLI. GAMBOA					
ANDA					
ARRIOLA					
HUETO ARRIBA					
OSMA					
SENDADIANO					
ARCHUA					
SALVATIERRA					
ARKAUTE					
OPACUA					
GAMIZ					
ESPEJO					
SALINAS AÑA.					
PUENTELARRA					
ARLUCEA					
ARMIÑON					
ZAMBRANA					
PEÑACERRADA					
LAGRAN					
LAGUARDIA					

Sin ajuste	Primeros ajustes	Mejores ajustes	Otros ajustes
------------	------------------	-----------------	---------------

El modelo de primer orden ajusta observatorios como Hueto Arriba, Opacua Salinas de Añana, Armiñón, Zambrana, Peñacerrada o Laguardia y sobreestima para todos ellos, el cálculo de las secuencias de dos días y subestima las colas de las distribuciones. La excepción en esta ocasión se corresponde con el observatorio de Peñacerrada donde se sobreestiman las rachas de tres y cuatro días. Esta estación se encuentra caracterizada por tener una estructura pluviométrica formada por pocas rachas y por una racha media corta. El otoño y la primavera son las principales estaciones lluviosas con cantidades porcentuales prácticamente iguales.

En diecisiete ocasiones, ha sido el modelo markoviano de segundo orden el que primero se ha ajustado correctamente con la realidad empírica bajo este umbral. Los observatorios que han aceptado este segundo orden como modelo explicativo se encuentran principalmente en el Territorio Histórico de Álava.

El observatorio de Betolaza es un claro ejemplo de una situación en la que se produce el ajuste general del modelo teórico pero no se da un ajuste claro con respecto a las colas de distribución de frecuencias al sobreestimar el modelo las secuencias de siete y ocho días. Su estructura pluviométrica es similar a la de Peñacerrada mientras el otoño es claramente la estación más lluviosa seguida en esta ocasión del invierno.

En el caso de la estación de Izarra el principal desajuste teórico no se haya en las colas de la distribución sino en el cálculo de las rachas de cinco días que está claramente sobreestimado. En Izarra se registran pocas rachas lluviosas bajo este umbral pero de una longitud considerable principalmente en otoño.

La estación de Ullibarri Gamboa se ajusta correctamente al modelo en términos generales pero obtiene malos ajustes particulares para las secuencias de cuatro días que son sobreestimadas, mientras en las colas de la distribución la estimación de las secuencias, se encuentra subestimada. El número de rachas lluviosas registradas en Ullibarri es elevado respecto al resto de estaciones si bien, la longitud de su racha media resulta corta. El otoño es con diferencia la época más lluviosa respecto al invierno que ocupa la segunda posición.

En el observatorio de Anda el modelo de segundo orden no es aceptable para las colas de la distribución al subestimar las secuencias lluviosas de ocho días de duración. Su estructura pluviométrica y la forma en la que se distribuyen la lluvia a lo largo del año son similares a las de Ullibarri Gamboa.

En Arriola se observa un buen ajuste general del modelo siendo claramente sobreestimadas las rachas de cuatro días. Respecto a las colas de la distribución, el modelo subestima las secuencias de ocho jornadas. En esta ocasión la estructura pluviométrica es A, es decir con abundantes

secuencias lluviosas y de una importante longitud. La diferencia entre la precipitación registrada en el otoño y el invierno es muy apreciable con más de un 7%.

En la localidad de Osma de Álava es destacable el hecho de que el modelo teórico sobreestime las rachas de tres días de duración. El número de rachas registrado es bajo y la duración de su racha media también. En esta ocasión la primavera será la segunda estación más lluviosa después del otoño.

En el observatorio de Archua el ajuste general es debido a la compensación existente entre la mala estimación teórica de las rachas de nueve días que son estimadas por debajo y las de tres días que lo son por encima.

En el caso de Salvatierra se ha encontrado un buen ajuste general y de las colas siendo la peor estimación la realizada para las secuencias de seis días de duración que son subestimadas. Su estructura pluviométrica está formada por pocas secuencias lluviosas y de escasa longitud y la primavera ejerce como segunda estación pluviométrica en esta localidad.

En el observatorio de Gámiz se da un buen ajuste general pero no en las colas de distribución donde a partir de las secuencias de nueve días se contabilizan importantes diferencias entre las estimaciones teóricas y los datos empíricos. Esto sucede bajo una estructura pluviométrica formada por muchas rachas de escasa longitud en donde las mayores cantidades de precipitación, después del otoño, son registradas en primavera.

La estación de Espejo tiene un buen ajuste general y también algunas diferencias claras en la estimación de las secuencias más longevas al subestimar el modelo las rachas de más de ocho días. También se da el hecho de que el modelo sobreestima las rachas de 4 días.

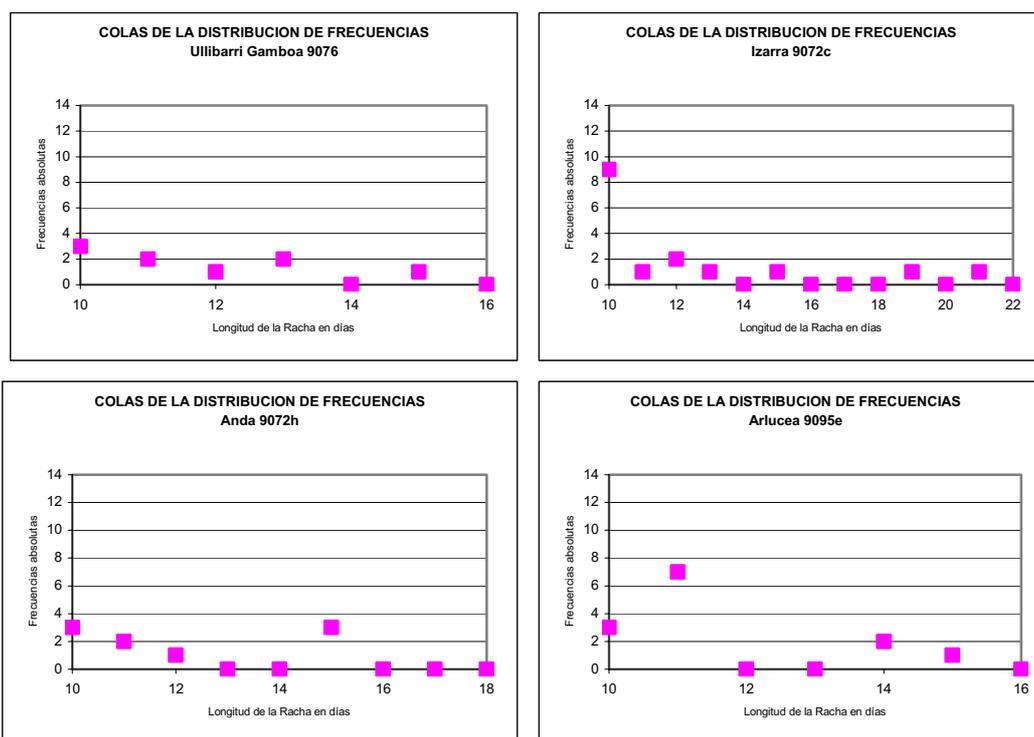
En esta ocasión la estructura pluviométrica está formada por muchas rachas de corta longitud y la primavera ocupa el segundo puesto pluviométrico en cuanto a cantidades estacionales

En Puentelarrá se obtiene tanto un buen modelo general como de las colas de la distribución de frecuencias. Su tipo de estructura está definido por escasas rachas y de corta longitud siendo el régimen pluviométrico claramente OPIV.

El hecho más significativo en la estación de Arlucea es que habiendo un buen ajuste general y de las colas, el modelo sobreestima las secuencias lluviosas de cuatro días. En este ámbito se registran pocas secuencias lluviosas pero de una gran longitud. El invierno es la segunda estación más lluviosa poco distante de la primavera que se encuentra en tercer lugar.

En el caso de Lagrán, los hechos más significativos dentro del ajuste general son que el modelo subestima las secuencias de uno y dos días y sobreestima las de tres y cuatro jornadas. Su importante número de rachas está caracterizado por su escasa longitud. El periodo en que se registran mayores precipitaciones es la primavera casi con el mismo volumen de lluvia que el otoño.

En los siguientes gráficos se muestran las colas de las distribuciones de algunos de estos observatorios señalados.



Gráficos 47, 48, 49 y 50. COLAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS BAJO EL UMBRAL DE 1 mm/día, por observatorios

Un hecho común para todas estas estaciones es el que gran parte de ellas sobreestiman las secuencias lluviosas de tres y cuatro jornadas. Igualmente puede ser considerado un factor común, aunque en menor medida, el hecho de que alguna ellas subestimen las rachas de ocho y nueve días.

También participan de este ajuste con el modelo markoviano de segundo orden los observatorios de Igueldo, Aranzazu (v), Abadiano y Amurrio en la vertiente Norte de la comunidad autónoma. En todas ellas el otoño ejerce como segunda estación más lluviosa.

El buen ajuste general producido en Igueldo por el segundo orden markoviano es ampliable también a las colas de su distribución aunque se ve matizado de forma particular por la sobreestimación que el modelo hace de las secuencias de dos y principalmente de cuatro días.

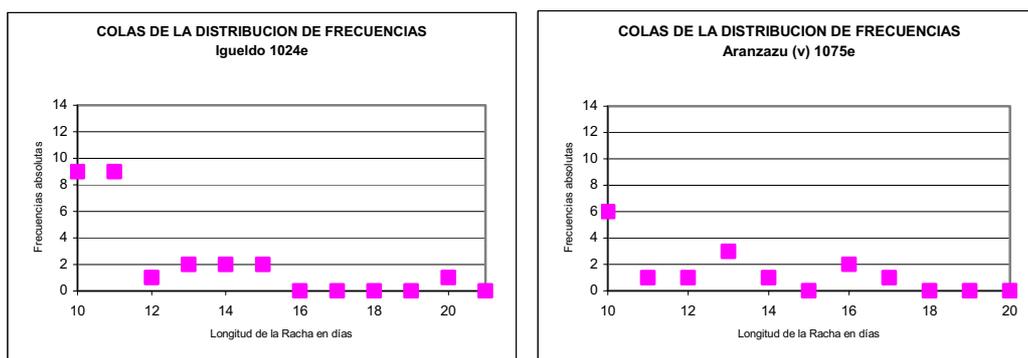
Abadiano es una de las estaciones donde se puede observar claramente cómo el modelo subestima la realidad empírica de las colas de la distribución, si bien, tan importante como eso resulta el hecho de que sobreestime en gran medida las secuencias de 5 días de duración.

Abadiano e Igueldo son dos estaciones en las que la estructura pluviométrica está caracterizada por tener un abundante número de secuencias lluviosas y de rachas medias importantes.

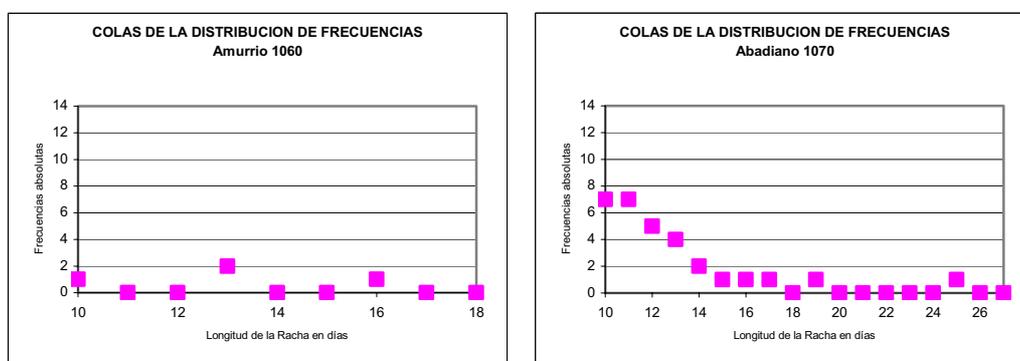
En el observatorio de Aranzazu (v) las estimaciones teóricas de las secuencias de dos días se encuentran, también, muy por encima de la realidad empírica estando las colas de la distribución ligeramente subestimadas. La estructura propia de esta estación se caracteriza por la longitud de su racha media si bien, el número de secuencias lluviosas registradas es pequeño.

Finalmente, en Amurrio el modelo markoviano subestima las secuencias lluviosas de dos y de ocho días para sobreestimar el número de secuencias de tres días de duración. Respecto a la estructura pluviométrica de Amurrio sucede lo contrario que en Aranzazu (v) al tener muchas rachas lluviosas pero una racha media corta.

A continuación se presentan de forma gráfica las colas de las distribuciones de los últimos observatorios mencionados.



Gráficos 51 y 52. COLAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS BAJO EL UMBRAL DE 1 mm/día, por observatorios



Gráficos 53 y 54. COLAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS BAJO EL UMBRAL DE 1 mm/día, por observatorios

Las estaciones restantes han obtenido, para el umbral de 1 mm/día, su primer ajuste bajo el modelo markoviano de tercer orden. Este el caso de observatorios como los de Fuenterrabía, Ategorrieta, Sondica, Lasarte, Etxebarria, Carranza, Eibar, Elduayen, Legazpia, Aranzazu (g) en la zona Norte y Ochandiano, Albina y Urrunaga en una de las vías de paso naturales de la divisoria de aguas hacia el Territorio Histórico Alavés. También participan de este orden teórico los observatorios de Sendadiano en la comarca de los Valles Alaveses y la estación de Arcaute en la Llanada Alavesa.

En el caso del observatorio de Fuenterrabía, el modelo de tercer orden subestima las secuencias de cuatro días y las colas de la distribución,

sobreestimando las rachas de 5 y de 8 días. La estructura de la precipitación se caracteriza en esta localidad por la existencia de un abundante número de rachas de corta duración siendo el invierno, en este caso, la estación más lluviosa.

Cuando analizamos el observatorio de Ategorrieta nos encontramos con que el modelo no se ajusta a las colas de la distribución sobreestimándolas ligeramente y además subestima con claridad las rachas de cinco días de duración.

En Sondica el modelo teórico proporciona un buen ajuste general también para las colas de la distribución produciéndose las mayores descompensaciones con las secuencias de nueve días.

La estación de Lasarte representa un ejemplo de un buen ajuste general y también de las colas de distribución para el modelo teórico de tercer orden a pesar de la sobreestimación que hace de las secuencias de tres y cuatro días.

La estación de Etxebarria presenta también un buen ajuste general y para las colas de distribución. Sobreestima las secuencias de siete días y estima por debajo de lo empírico las secuencias de cinco días.

Un caso similar a las anteriores es el de la estación de Carranza donde el ajuste es general para toda la distribución y para las estimaciones de las colas también. En esta ocasión, se sobreestiman las secuencias de dos días y se subestiman las de tres.

La siguiente localidad, Eibar, mostrará un comportamiento parecido de ajuste general pero subestima ligeramente las secuencias más longevas. Además el modelo sobreestima las secuencias de seis días lluviosos.

En Elduayen el modelo teórico sobreestima con claridad las colas de la distribución sobreestimando también las rachas de cuatro días y las de ocho jornadas.

Para el observatorio de Legazpia se da un buen ajuste de las colas de distribución y también general. El aspecto más destacable es la sobreestimación que hace de las rachas de siete y de cuatro días.

La localidad de Albina viene caracterizada por el hecho de que el modelo subestime el cálculo de las colas de distribución. También el modelo sobreestimaré, en esta ocasión, las rachas de tres y cuatro días.

En todos estos últimos observatorios se mantiene una estructura pluviométrica común caracterizada por la presencia de rachas lluviosas numerosas y largas, además de compartir también una distribución temporal de la precipitación apoyada en el otoño y el invierno como épocas estacionales más lluviosas.

En la localidad de Aranzazu (g) se mantiene una estructura pluviométrica similar a las anteriores pero hay un cambio sustancial en su régimen pluviométrico al tomar el invierno la primera posición en cuanto a las estaciones más lluviosas. En esta localidad se produce un mal ajuste de las colas de la distribución a la realidad empírica al subestimar el modelo las secuencias más longevas. El modelo sobreestima las secuencias de cuatro días.

En Ochandiano se produce una baja estimación de las secuencias más longevas y de las de dos días, acompañada por un sobre cálculo de las secuencias de cuatro y ocho días.

La estación de Arcaute subestima las secuencias dos días y las más largas, sobreestimando las que tienen tres y seis días de duración.

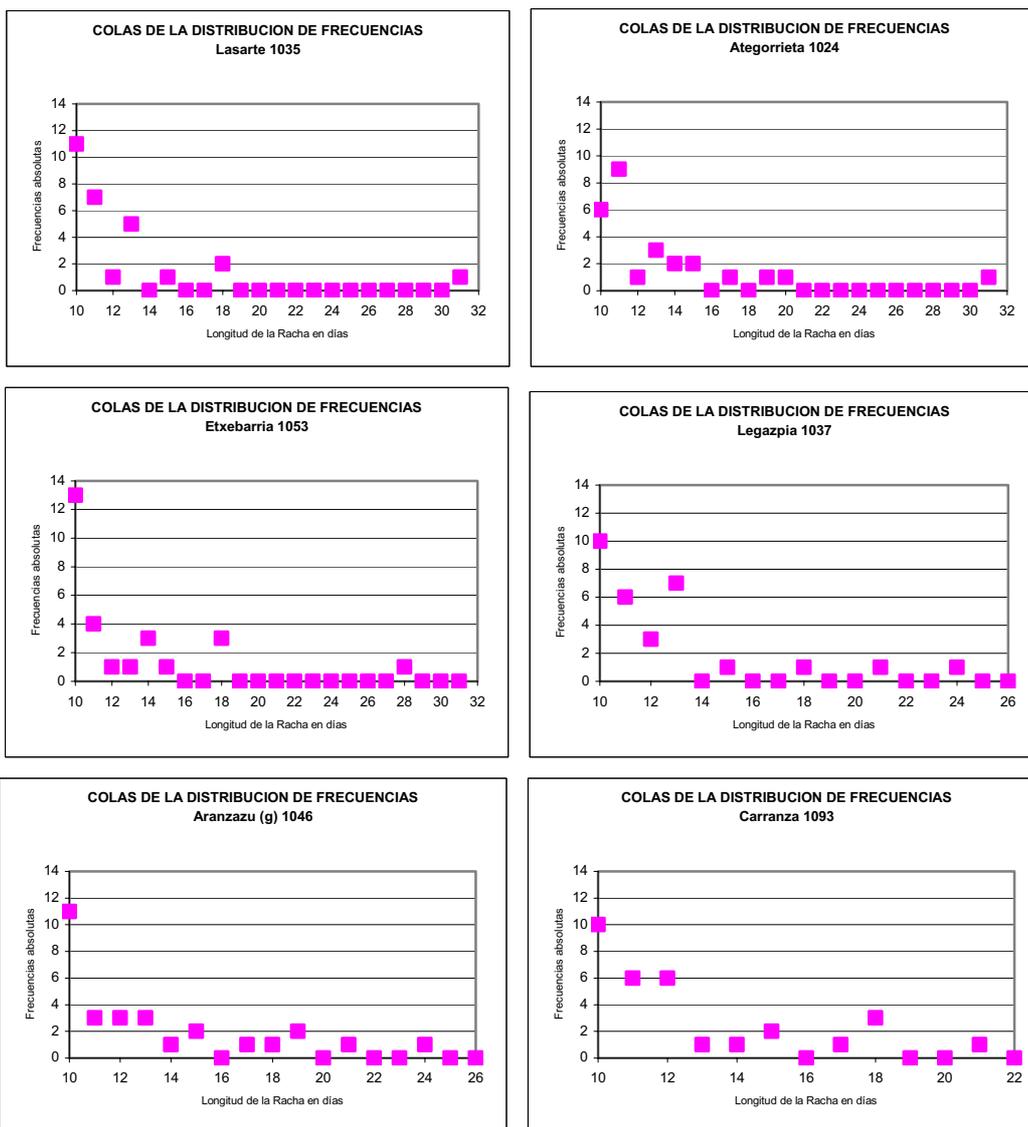
Tanto en el caso de Arcaute como en el de Ochandiano su estructura pluviométrica se caracteriza por la presencia de relativamente pocas secuencias lluviosas de una importante longitud, todo ello bajo un régimen pluviométrico en donde el invierno se mantiene como segunda estación lluviosa tras el otoño.

En la estación de Urrunaga el modelo muestra un mal ajuste para las secuencias más longevas al subestimarlas con claridad. El modelo se excede en la estimación de las secuencias de tres jornadas lluviosas y se queda corto para las de dos días.

Finalmente, en el observatorio de Sendadiano, el modelo markoviano obtienen valores por debajo de los empíricos en las colas de la distribución y valores sobreestimados para las rachas de tres, seis y siete días mientras subestima las de dos.

En estos dos últimos casos la estructura pluviométrica es del tipo B, es decir con un número de rachas superior a la media y una racha media muy baja. En el caso de Urrunaga el invierno es la segunda época lluviosa pero, en el caso de Sendadiano, lo es la primavera.

A continuación se presentan de forma gráfica las colas de las distribuciones de algunos de los observatorios ajustados por el tercer modelo de markov.



Gráficos 55, 56, 57, 58, 59 y 60. COLAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS BAJO EL UMBRAL DE 1 mm/día, por observatorios

Bajo el umbral de 1 mm/día, los tipos de rachas que resultan habitualmente sobreestimadas por el modelo son de tres, cuatro y cinco días pero también se da una especie de segundo ciclo en donde las sobreestimaciones afectan a secuencias más largas de entre seis y nueve días de duración. Cuando se dan estos dos ciclos en una misma estación suele haber entre ellos una distancia media de tres o cuatro jornadas siempre en términos generales.

Por último, se ha encontrado un observatorio (Arcentales) en donde el primer modelo de ajuste encontrado, bajo el umbral de 1 mm/día, ha sido el cuarto orden markoviano siendo la causa fundamental de este ajuste elevado el comportamiento de las colas de distribución de las frecuencias empíricas. Las cuatro rachas de quince días y las dos de diecinueve días contribuyen claramente a que sea un ajuste más elevado.

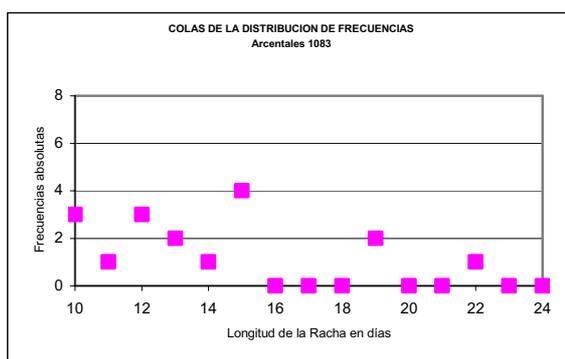


Gráfico 61. COLAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS BAJO EL UMBRAL DE 1 mm/día, por observatorios

b) Umbral de 5 mm/día

Para el umbral de 5 mm/día adquiere una especial relevancia, en los primeros ajustes el modelo de primer orden ajustando, en esta ocasión, un total de diecisiete observatorios.

Tabla 34. AJUSTES ACEPTABLES DE LOS MODELOS MARKOVIANOS PARA EL UMBRAL DE 5 mm/día, por estaciones

Estación	Orden 1	Orden 2	Orden 3	Orden 4	Orden 5
FUENTERRABIA					
ATEGORRIETA					
IGUELDO					
SONDICA					
LASARTE					
ETXEBARRIA					
CARRANZA					
ARCENTALES					
EIBAR					

ARANZAZU (v)					
ELDUAYEN					
ABADIANO					
LEGAZPIA					
AMURRIO					
OCHANDIANO					
ALBINA					
ARANZAZU (g)					
URRUNAGA					
IZARRA					
BETOLAZA					
ULLI. GAMBOA					
ANDA					
ARRIOLA					
HUETO ARRIBA					
OSMA					
SENDADIANO					
ARCHUA					
SALVATIERRA					
ARKAUTE					
OPACUA					
GAMIZ					
ESPEJO					
SALINAS AÑA.					
PUENTELARRA					
ARLUCEA					
ARMIÑON					
ZAMBRANA					
PEÑACERRADA					
LAGRAN					
LAGUARDIA					

Sin ajuste	Primeros ajustes	Mejores ajustes	Otros ajustes
------------	------------------	-----------------	---------------

Las estaciones ajustadas con este orden son Arcentales, Sondica, Legazpia, Urrunaga, Arriola, Hueto Arriba, Archua, Salvatierra, Gámiz, Espejo, Salinas de Añana, Puentelarrá, Armiñón, Zambrana, Peñacerrada, Lagrán y Laguardia.

En este caso sucede algo similar a lo ya comentado para el umbral principal de 1 mm/día. Los modelos sobreestiman principalmente las rachas de dos y tres días mientras subestiman las colas de las distribuciones que en muchas ocasiones, sobre todo en la parte Sur, son ya secuencias de seis, cinco e incluso menos días de duración.

El segundo orden markoviano también tiene una relevancia muy importante en los primeros ajustes bajo este umbral. De este modo, diecinueve observatorios, Fuenterrabía, Ategorrieta, Igueldo, Carranza, Eibar, Aranzazu (v), Elduayen, Ochandiano, Albina, Aranzazu (g), Betolaza, Ullibarri Gamboa, Anda, Osma de Álava, Sendadiano, Opacua y Arlucea constituyen el grupo de estaciones cuya realidad empírica puede ser expresada matemáticamente por este orden markoviano.

Las sobreestimaciones del modelo se producen, en esta ocasión, en las rachas de tres y cuatro días de duración siendo subestimadas las de dos días y las colas de las distribuciones.

Tan solo seis estaciones pueden ser explicadas en esta ocasión por un modelo de orden superior. El grupo de estaciones que encuentran en el tercer orden markoviano el primero de sus ajustes válidos está formado por Lasarte, Etxebarria, Abadiano, Amurrio, Izarra y la estación de Arcaute.

También se observa que para las estaciones que emplean el tercer modelo como orden explicativo las sobreestimaciones aparecen fundamentalmente para las rachas de cuatro días e incluso de cinco en algunas ocasiones, compensadas con las subestimación de las rachas de cinco y seis días en la zona Norte.

En definitiva, en todos los casos las sobreestimaciones suelen nacer del segundo cálculo de cada modelo en el que solo se incluyen dos factores: el conjunto de transiciones que inician una determinada secuencia y el conjunto de enlaces que la finalizan tomando, en ese caso, las transiciones estrictamente lluviosas el valor de la unidad.

También este umbral participa, en términos generales de una especie de efecto rebote según el cual una sobreestimación de un tipo de racha por parte del modelo suele estar precedida, en muchas ocasiones, por una

subestimación de la secuencia inmediatamente inferior, sobre todo en los observatorios de la mitad Norte.

c) Umbral de 10 mm/día

Los ajustes bajo este umbral carecen de sentido en un gran número de observatorios, principalmente en la vertiente Sur de la comunidad, por existir muy pocas categorías de secuencias lluviosas lo que imposibilita el cálculo de modelos superiores.

Solo en aquellos observatorios con una gran diversidad de tipos de secuencias lluviosas se han encontrado algunos primeros ajustes que no se corresponden con el primer orden. Este es el caso de las estaciones de Fuenterrabía, Ategorrieta, Lasarte, Carranza, Eibar, Aranzazu (v), Abadiano, Legazpia, y Ochandiano que ajustan sus distribuciones empíricas con el segundo modelo markoviano bajo este umbral de corte.

Los observatorios de Albina y Etxebarria van más allá y encuentran el ajuste teórico bajo este umbral, con el tercer orden markoviano. Finalmente, será la estación de Elduayen la que muestra un ajuste de su distribución de frecuencias empíricas con el modelo markoviano de quinto orden realmente notable.

2.4. Órdenes markovianos, estructuras y regímenes pluviométricos

De todo lo expuesto a lo largo de la obra se desprende la idea de que los ajustes obtenidos respecto a los modelos markovianos atienden al régimen pluviométrico de cada estación y a su estructura pluviométrica (**Tabla 35**).

Tabla 35. REGIMENES PLUVIOMÉTRICOS, ESTRUCTURAS PLUVIOMÉTRICAS Y PRIMEROS AJUSTES MARKOVIANOS, por umbrales de corte

LUGAR	CODIGO	RP	Umbral 1 mm/día		Umbral 5 mm/día		Umbral 10 mm/día	
			EP	MK 1er Ajuste	EP	MK 1er Ajuste	EP	MK 1er Ajuste
FUENTERRABIA	1014	IOPV	B	3	B	2	A	2
ATEGORRIETA	1024	OIPV	A	3	A	2	A	2
IGUELDO	1024e	OIPV	A	2	A	2	A	1
SONDICA	1082	OIPV	A	3	A	1	A	1
LASARTE	1035	OIPV	A	3	A	3	A	2
ETXEBARRIA	1053	OIPV	A	3	A	3	A	3
CARRANZA	1093	OIPV	A	3	A	2	A	2
ARCENTALES	1083	OIPV	C	4	C	1	A	1
EIBAR	1050	OIPV	A	3	A	2	A	2
ARANZAZU(v)	1075e	OIPV	C	2	A	2	A	2
ELDUAYEN	1031	OIPV	A	3	A	2	A	5
ABADIANO	1070	OIPV	A	2	A	3	A	2
LEGAZPIA	1037	OIPV	A	3	A	1	A	2
AMURRIO	1060	OIPV	B	2	A	3	A	1
OCHANDIANO	9077e	OIPV	C	3	A	2	A	2
ALBINA	9078	OIPV	A	3	C	2	C	3
ARANZAZU(g)	1046	IOPV	A	3	A	2	A	1
URRUNAGA	9080	OIPV	B	3	D	1	D	1
IZARRA	9072c	OIPV	C	2	C	3	C	1
BETOLAZA	9080c	OIPV	D	2	D	2	D	1
ULLI. GAMBOA	9076	OIPV	B	2	D	2	D	1
ANDA	9072h	OIPV	B	2	C	2	C	1
ARRIOLA	9074c	OIPV	A	2	B	1	D	1
HUETO ARRIBA	9092	OIPV	D	1	D	1	D	1
OSMA	9063o	OPIV	D	2	D	2	D	1
SENDADIANO	9072i	OPIV	B	3	B	2	D	1
ARCHUA	9072j	OIPV	A	2	B	1	D	1
SALVATIERRA	9074	OPIV	D	2	D	1	D	1
ARCAUTE	9086	OPIV	C	3	D	3	D	1
OPACUA	9073i	OPIV	D	1	D	2	D	1
GAMIZ	9085i	OPIV	B	2	D	1	D	1
ESPEJO	9064i	OPIV	D	2	D	1	D	1
SALINAS AÑA.	9064	OPIV	B	1	D	1	D	1
PUENTELARRA	9065i	OPIV	D	2	D	1	D	1
ARLUCEA	9095e	OIPV	C	2	A	2	A	1
ARMIÑON	9094u	POIV	D	1	D	1	D	1
ZAMBRANA	9103x	POIV	D	1	D	1	D	1
PEÑACERRADA	9103	OPIV	D	1	D	1	D	1
LAGRAN	9175	OPIV	B	2	B	1	D	1
LAGUARDIA	9146i	POIV	D	1	D	1	D	1

a) Umbral de 1 mm/día

Los resultados obtenidos tras el análisis de componentes principales, para el umbral de 1 mm/día han sido recogidos en las **tablas 36 y 37** que muestran como la primera componente representa algo más del 73% de la varianza mientras a la segunda y la tercera componente les corresponden el 14,1% y el 12,7% respectivamente.

Tabla 36. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: COMUNALIDADES.
Umbral de 1 mm/día

	Inicial	Extracción
Estructura pluviométrica 1 mm/día	1,000	,729
Modelo markoviano	1,000	,716
Régimen pluviométrico	1,000	,746

Tabla 37. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES:
VARIANZA TOTAL EXPLICADA. Umbral de 1 mm/día

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,192	73,063	73,063	2,192	73,063	73,063
2	,425	14,170	87,232			
3	,383	12,768	100,000			

El porcentaje de la varianza explicado por una sola componente resulta lo suficientemente elevado como para pensar que, bajo este umbral de corte, se mantiene un alto grado de coherencia física entre los tres factores considerados quedando un porcentaje de la misma exento del comportamiento sistémico de los números y controlado por otro tipo de factores.

En la matriz de componentes (**Tabla 38**) se observa como los órdenes markovianos vienen expresados en forma negativa dado que las estructuras pluviométricas con mayor número de secuencias lluviosas (A y B) son las más bajas.

Tabla 38. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: MATRIZ DE COMPONENTES.
Umbral de 1 mm/día

	Componente 1
Estructura pluviométrica 1 mm/día	,854
Modelo markoviano	-,846
Régimen pluviométrico	,864

b) Umbral de 5 mm/día

Bajo el umbral de 5 mm/día (**Tablas 39, 40 y 41**) se produce un ligero descenso respecto al porcentaje de varianza explicado por el primer componente que desciende, en esta ocasión, hasta un 65,7%.

Tabla 39. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: COMUNALIDADES.
Umbral de 5 mm/día

	Inicial	Extracción
Estructura pluviométrica 5 mm/día	1,000	,734
Modelo markoviano	1,000	,525
Régimen pluviométrico	1,000	,713

El segundo componente incrementa su porcentaje de explicación de la varianza con respecto al umbral anterior hasta un 21,6% mientras la tercera componente se mantiene prácticamente igual.

Tabla 40. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: VARIANZA TOTAL EXPLICADA. Umbral de 5 mm/día

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	1,972	65,738	65,738	1,972	65,738	65,738
2	,648	21,608	87,345			
3	,380	12,655	100,000			

Tabla 41. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: MATRIZ DE COMPONENTES. Umbral de 5 mm/día

	Componente 1
Estructura pluviométrica 5 mm/día	,857
Modelo markoviano	-,725
Régimen pluviométrico	,844

c) Umbral de 10 mm/día

La elevación del umbral de corte hasta los 10 mm/día provoca un nuevo repunte del porcentaje de explicación de la varianza de la primera componente con un 67,13% respecto al umbral de 5 mm/día siendo aún inferior al del primer umbral de corte.

La varianza explicada por la segunda componente es, en este umbral, la más elevada con un 22,7% mientras el porcentaje de varianza explicado por

la tercera componente resulta el más pequeño de los tres umbrales de corte analizados con tan solo un 10,1%.

Tabla 42. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: COMUNALIDADES.
Umbral de 10 mm/día

	Inicial	Extracción
Estructura pluviométrica 10 mm/día	1,000	,813
Modelo markoviano	1,000	,531
Régimen pluviométrico	1,000	,670

Tabla 43. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: VARIANZA TOTAL EXPLICADA. Umbral de 10 mm/día

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,014	67,134	67,134	2,014	67,134	67,134
2	,682	22,737	89,871			
3	,304	10,129	100,000			

Tabla 44. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES: MATRIZ DE COMPONENTES.
Umbral de 10 mm/día

	Componente 1
Estructura pluviométrica 10 mm/día	,902
Modelo markoviano	-,729
Régimen pluviométrico	,819

En las tres matrices de componentes presentadas (**Tablas 38, 41 y 43**) el valor obtenido para los modelos markovianos resulta negativo al tomar las estructuras pluviométricas con mayor número de secuencias lluviosas y con

una racha media más larga (estructuras pluviométricas A y B) los valores más bajos mientras las estructuras con menor número de secuencias y con rachas medias menos longevas toman valores más elevados.

2.5. Regionalización de los días lluviosos según Markov

Los mapas que se muestran a continuación representan los espacios teóricos en donde el comportamiento empírico de la precipitación puede considerarse homogéneo respecto al primer modelo markoviano ajustado.

a) Umbral de 1 mm/día

Los espacios ajustados por el primer orden markoviano pertenecen a la zona Sur de la comunidad autónoma. Los sectores de Salinas de Añana, Armiñón, Zambrana, Peñacerrada, Opacua y Laguardia son un claro ejemplo de esta circunstancia.

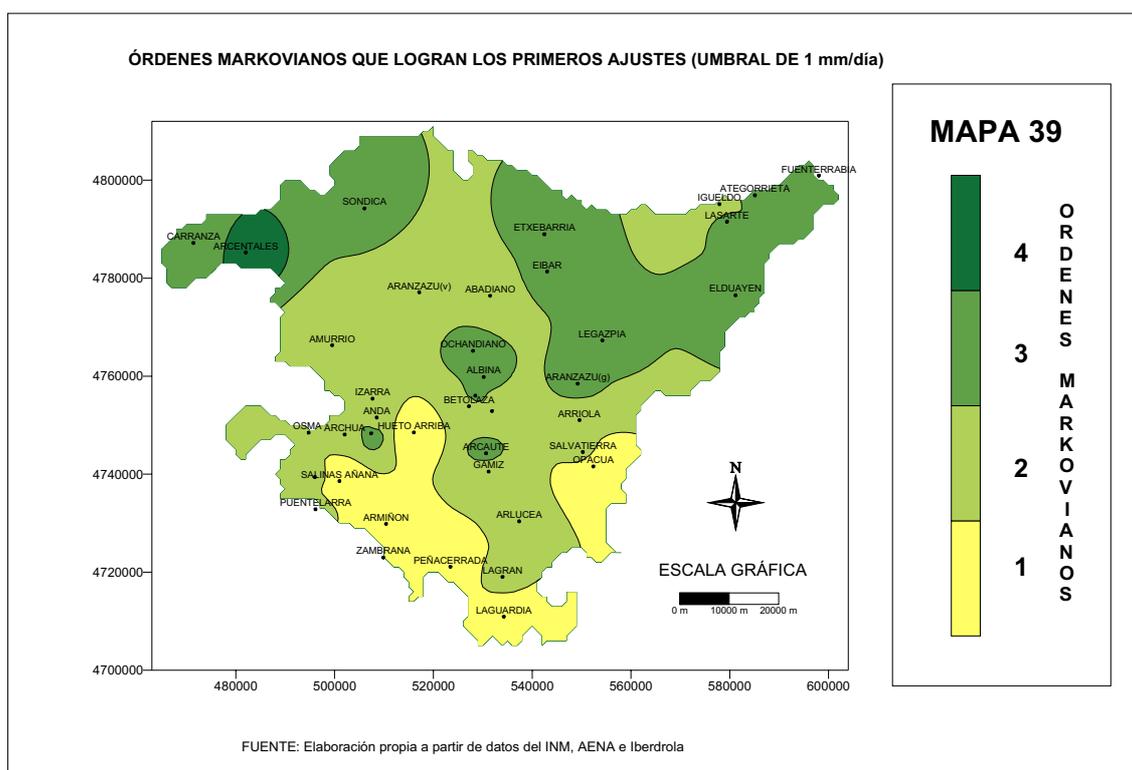
El modelo de segundo orden se articula sobre el territorio analizado en forma de cruz irregular que permite que este modelo sea característico de espacios propios de los cuatro puntos cardinales. En este sentido su representatividad se extiende desde la zona de Lagrán y Arlucea hasta los ámbitos atlánticos de Aranzazu (v), Abadiano, Amurrio o un sector próximo a Igueldo.

En el eje longitudinal es posible encontrar observatorios ajustados a este orden markoviano desde el extremo oriental de la Llanada Alavesa con estaciones como Arriola y Salvatierra hasta la comarca de los Valles Alaveses en el Oeste de la comunidad donde se encuentran las estaciones de Osma de Álava, Archua, Anda, Espejo o Puentelarrá.

El tercer orden markoviano va a ser característico, bajo este umbral de 1 mm/día, de amplios sectores del Nordeste y del Noroeste de la CAPV.

También aparece este modelo como expresión teórica válida en la zona de Ochandiano y Albina.

El cuarto orden markoviano es característico de un pequeño espacio en torno a la estación de Arcentales en el Noroeste de la CAPV.



b) Umbral de 5 mm/día

La elevación del umbral de corte ha supuesto la pérdida de un orden markoviano quedando simplificada la representación cartográfica a tan solo tres órdenes teóricos.

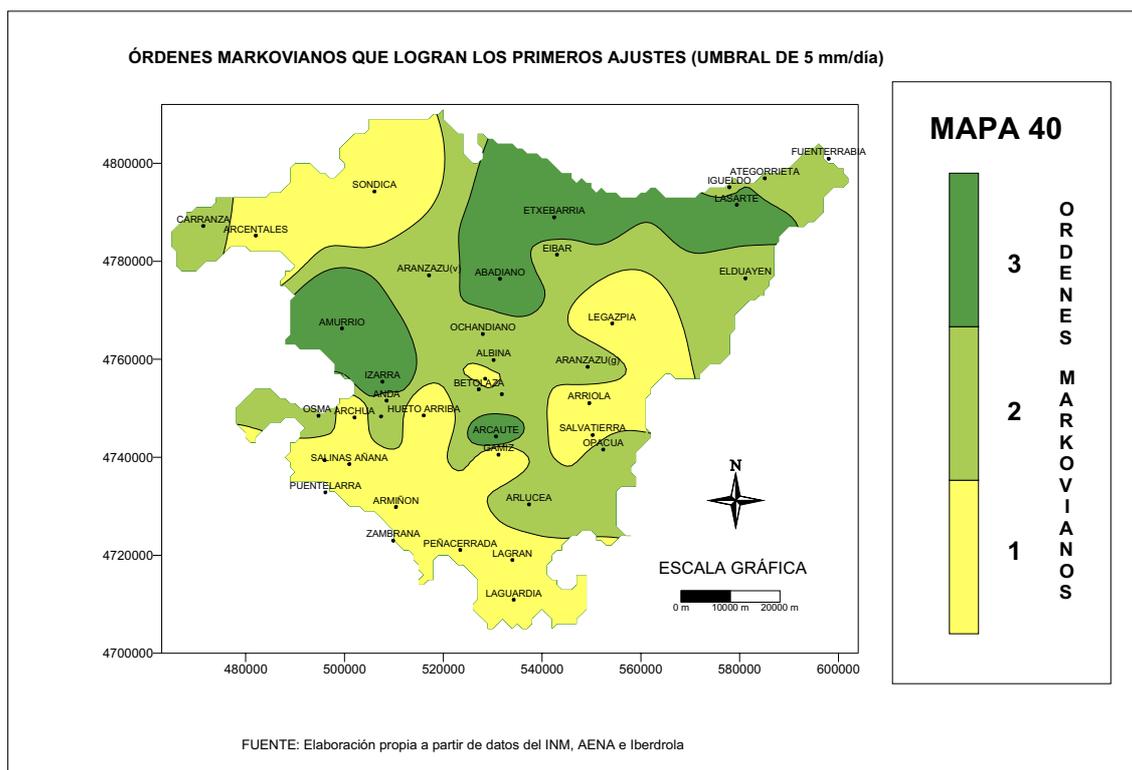
Bajo este nuevo umbral el modelo de primer orden mantiene sus posiciones previas y coloniza espacios propios del centro-este de la comunidad afectando a sectores del entorno de Legazpia, Arriola y Salvatierra.

Arcaute, Gámiz y Lagrán pasan a ser también absorbidas por este orden markoviano al extender su dominio, la mancha propia de este orden, hacia la zona del Sur de Álava.

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 de la CAPV bajo el umbral de 5 mm/día. En este territorio aparecen estaciones meteorológicas tales como Arlucea, Opacua, Osma de Álava, Huetto Arriba, Ochandiano, Albina, Aranzazu (g) y Aranzazu (v), Carranza, Fuenterrabía Ategorrieta o Espejo, entre otras.

Finalmente, el modelo de tercer orden, aquel que condiciona la probabilidad de ocurrencia a lo que sucedió los tres días pasados, 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.



c) Umbral de 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 de la CAPV, 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 de la CAPV, 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.

