

COMPARACION DE LA PLUVIOSIDAD EN DOS LOCALIDADES DE LA REGION CANTABRICA

*por Carlos Pérez Manrique, M.^a Isabel Garmendia Rodríguez,
Jesús Seco Santos y José Garmendia Iraundegui
Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos. Facultad de
Ciencias. Universidad de Salamanca*

RESUMEN

Con los datos de la precipitación registrada en los observatorios meteorológicos de Gijón y San Sebastián —Monte Igueldo—, durante el período de 30 años comprendidos entre 1946 y 1975, ambos inclusive, se estiman para cada mes del año las probabilidades simples de día de lluvia o día seco así como las condicionadas al día precedente y a los dos días precedentes.

Por otra parte, utilizando el modelo de Cadenas de Markov de 1.^{er} orden se calcula la probabilidad de que llueva o sea seco un día n días después de un día seco o lluvioso.

1. Introducción

La fuerte pluviosidad de la región cantábrica es uno de sus fenómenos característicos. Pero en esa región existen matices subregionales que es conveniente ir analizando con detalle y señalando aquellas diferencias que pasan de la magnitud de los errores experimentales.

Estos estudios permiten ir conociendo las relaciones entre la situación sinóptica y los factores geográficos y obtener como resultado final lo que se ha dado en denominar el tipo de tiempo, o, al menos, poder señalar los factores atmosféricos esenciales de los climas locales.

Hemos escogido dos estaciones meteorológicas litorales (Gijón y San Sebastián-Monte Igueldo) de mucha historia meteorológica, por lo que la fiabi-

lidad de sus datos es máxima. Por su situación geográfica nos permite analizar la variación este-oeste de la pluviosidad y ver que en un mismo dominio climático, los tipos de circulación pueden tener efectos diferentes en la lluvia y en la sequía según las regiones.

Las probabilidades que se estiman aquí sirven de base a numerosos estudios estadísticos sobre pluviometría. Nosotros hemos realizado anteriormente algunos (9), (10) y (11).

2. Estimación de probabilidades

Con los datos de la precipitación registrada en los observatorios meteorológicos de Gijón y San Sebastián-Monte Igueldo, durante el período de 30 años que van desde 1946 a 1975, se estiman para cada mes del año las probabilidades simples y condicionadas al día precedente y condicionadas a los dos días precedentes de que un día sea seco o lluvioso.

Se considera día lluvioso y se le indica con un 1, cuando la precipitación registrada entre las 0 y las 24 horas (TMG) de dicho día, sea igual o superior a 0,1 mm. En caso contrario se dice que el día ha sido seco y se le designa con un 0.

Los valores de las probabilidades simples y condicionadas al día precedente se encuentran en la tabla 1, y las condicionadas a los dos días precedentes, en la tabla 2.

El significado de los símbolos utilizados en las tablas 1 y 2 es el siguiente:

TABLA 1.—Probabilidades simples y condicionadas al día precedente

GIJON															
	1	0	-	11	10	1-	01	00	0-	P(1)	P(0)	P ₁ (1)	P ₁ (0)	P ₀ (1)	P ₀ (0)
Enero	477	453	930	339	142	481	138	311	449	0,513	0,487	0,705	0,295	0,307	0,693
Febrero	433	414	847	319	115	434	114	299	413	0,511	0,489	0,735	0,265	0,276	0,724
Marzo	446	484	930	306	132	438	140	352	492	0,480	0,520	0,699	0,301	0,285	0,915
Abril	442	458	900	290	157	447	152	301	453	0,491	0,509	0,649	0,351	0,336	0,664
Mayo	441	489	930	297	147	444	144	342	486	0,474	0,526	0,669	0,331	0,296	0,704
Junio	325	574	900	192	140	332	134	434	568	0,362	0,638	0,578	0,422	0,236	0,764
Julio	244	686	930	111	135	246	133	551	684	0,262	0,738	0,451	0,549	0,194	0,806
Agosto	331	599	930	164	163	327	167	436	603	0,356	0,644	0,502	0,498	0,277	0,723
Septiembre	377	523	900	212	158	370	165	365	530	0,419	0,581	0,573	0,427	0,311	0,689
Octubre	416	514	930	284	131	415	132	383	515	0,447	0,553	0,684	0,316	0,256	0,744
Noviembre	476	424	900	346	133	479	130	291	421	0,529	0,471	0,722	0,278	0,309	0,691
Diciembre	493	437	930	357	131	488	136	306	442	0,530	0,470	0,732	0,268	0,308	0,692
<i>Probabilidades medias anuales</i>										0,448	0,552	0,656	0,344	0,278	0,722

SAN SEBASTIAN															
	1	0	-	11	10	1-	01	00	0-	P(1)	P(0)	P ₁ (1)	P ₁ (0)	P ₀ (1)	P ₀ (0)
Enero	486	444	930	353	136	489	133	308	441	0,523	0,477	0,722	0,278	0,302	0,698
Febrero	438	409	847	307	135	442	131	274	405	0,517	0,483	0,695	0,305	0,323	0,677
Marzo	459	471	930	315	137	452	144	334	478	0,494	0,506	0,697	0,303	0,301	0,699
Abril	504	396	900	362	146	508	142	250	392	0,560	0,440	0,713	0,287	0,362	0,638
Mayo	528	402	930	368	159	527	160	243	403	0,568	0,432	0,698	0,302	0,397	0,603
Junio	460	440	900	295	169	464	165	271	436	0,511	0,489	0,636	0,364	0,378	0,622
Julio	432	498	930	263	170	433	169	328	497	0,465	0,535	0,607	0,393	0,340	0,660
Agosto	470	460	930	293	175	468	177	285	462	0,505	0,495	0,626	0,374	0,383	0,617
Septiembre	461	439	900	307	152	459	154	287	441	0,512	0,488	0,669	0,331	0,349	0,651
Octubre	410	520	930	272	137	409	138	383	521	0,441	0,559	0,665	0,335	0,265	0,735
Noviembre	484	416	900	353	132	485	131	284	415	0,538	0,462	0,728	0,272	0,316	0,684
Diciembre	512	418	930	382	126	508	130	292	422	0,551	0,449	0,752	0,248	0,308	0,692
<i>Probabilidades medias anuales</i>										0,515	0,485	0,684	0,316	0,335	0,665

- P(1) = Probabilidad de día de lluvia.
- P(0) = Probabilidad de día seco.
- P₁(1) = Probabilidad de día de lluvia condicionado a que el día precedente fue lluvioso.
- P₁(0) = Probabilidad de día seco condicionado a que el día precedente fue lluvioso.
- P₀(1) = Probabilidad de día de lluvia condicionado a que el día precedente fue seco.
- P₀(0) = Probabilidad de día seco condicionado a que el día precedente fue seco.
- P₁₁(1) = Probabilidad de día de lluvia, condicionado a que los dos días precedentes fueron lluviosos.
- P₀₁(1) = Probabilidad de día de lluvia condicionada a que el día anterior fue lluvioso y el anterior a éste fue seco.

Análogo significado tienen P₁₀(1), P₀₀(1), P₁₁(0), P₀₁(0), P₁₀(0) y P₀₀(0).

- 1 : Significa día de lluvia.
- 0 : Significa día seco.
- : Significa el número de días que se dispone, en total, en cada mes durante los 30 años.
- 11 : Significa día de lluvia precedido por un día de lluvia.
- 10 : Significa día seco precedido por día de lluvia.
- 1 : Significa número de días dentro de cada mes precedido por día de lluvia.
- 01 : Significa día de lluvia precedido por un día seco.
- 00 : Significa día seco precedido por un día seco.

0-: Significa número de días dentro de cada mes precedido por día seco.

11!: Días de lluvia, precedidos inmediatamente por dos días de lluvia.

11!: Días secos, precedidos inmediatamente por dos días de lluvia.

11 : Total de días, precedidos inmediatamente por dos días de lluvia.

10!: Días de lluvia, precediéndoles inmediatamente un día seco y a éste uno de lluvia.

10⁰, 10, 01¹, 01⁰, 01, 00¹, 00⁰, 00, tienen un significado análogo.

Hay que estimar solamente las probabilidades P(1), P₁(1), P₀(1), P₁₁(1), P₀₁(1), P₁₀(1) y P₀₀(1), ya que las restantes probabilidades que se deben utilizar son complementarias de éstas, y por tanto se verifica:

$$P(0) = 1 - P(1); P_i(0) = 1 - P_i(1);$$

$$P_0(0) = 1 - P_0(1); P_{11}(0) = 1 - P_{11}(1);$$

$$P_{01}(0) = 1 - P_{01}(1); P_{10}(0) = 1 - P_{10}(1);$$

$$P_{00}(0) = 1 - P_{00}(1)$$

Puesto que el razonamiento que se hace para un mes cualquiera sirve para los demás, vamos a detallar los cálculos para el mes de mayo en Gijón, con el fin de fijar las ideas.

Se dispone de los datos de precipitación durante 30 años, como el mes de mayo tiene 31 días, poseemos una muestra de 930 días de este mes. Para obtener P(1) se contabilizan todos los días de lluvia entre los 930, y resultan 441. Por tanto, la frecuencia relativa de lluvia de nuestra muestra es $\frac{441}{930} = 0,474$ y como se sabe que este valor es un estimador de máxima verosimilitud de los va-

TABLA 2.—Probabilidades condicionadas a los dos días precedentes

GIJON																				
	11 ¹	11 ⁰	11	10 ¹	10 ⁰	10	01 ¹	01 ⁰	01	00 ¹	00 ⁰	00	P ₁₁ (1)	P ₁₁ (0)	P ₁₀ (1)	P ₁₀ (0)	P ₀₁ (1)	P ₀₁ (0)	P ₀₀ (1)	P ₀₀ (0)
Enero	241	95	336	58	88	146	98	47	145	80	223	303	0,717	0,283	0,397	0,603	0,676	0,324	0,264	0,736
Febrero	239	82	321	39	76	115	80	33	113	75	223	298	0,745	0,255	0,339	0,661	0,708	0,292	0,252	0,748
Marzo	210	93	303	52	80	132	96	39	135	88	272	360	0,693	0,307	0,394	0,606	0,711	0,289	0,244	0,756
Abril	184	110	294	63	94	157	106	47	153	89	207	296	0,626	0,374	0,401	0,599	0,693	0,307	0,301	0,699
Mayo	184	112	296	54	92	146	113	35	148	90	250	340	0,622	0,378	0,370	0,630	0,764	0,236	0,265	0,735
Junio	110	88	198	37	112	149	82	52	134	97	322	419	0,556	0,444	0,248	0,752	0,612	0,388	0,232	0,768
Julio	50	64	114	27	105	132	61	71	132	106	446	552	0,439	0,561	0,205	0,795	0,462	0,538	0,192	0,808
Agosto	76	81	157	50	116	166	88	82	170	117	320	437	0,484	0,516	0,301	0,699	0,518	0,482	0,268	0,732
Septiembre	119	92	211	53	108	161	93	66	159	112	257	369	0,564	0,436	0,329	0,671	0,585	0,415	0,304	0,696
Octubre	181	96	277	43	86	129	103	35	138	89	297	386	0,653	0,347	0,333	0,667	0,746	0,254	0,231	0,769
Noviembre	253	97	350	50	82	132	93	36	129	80	209	289	0,723	0,277	0,379	0,621	0,721	0,279	0,277	0,723
Diciembre	266	93	359	49	83	132	91	38	129	87	223	310	0,741	0,259	0,371	0,629	0,705	0,295	0,281	0,719
<i>Probabilidades medias anuales</i>													0,657	0,343	0,339	0,661	0,658	0,342	0,255	0,745

SAN SEBASTIAN																				
	11 ¹	11 ⁰	11	10 ¹	10 ⁰	10	01 ¹	01 ⁰	01	00 ¹	00 ⁰	00	P ₁₁ (1)	P ₁₁ (0)	P ₁₀ (1)	P ₁₀ (0)	P ₀₁ (1)	P ₀₁ (0)	P ₀₀ (1)	P ₀₀ (0)
Enero	258	102	360	49	94	143	95	34	129	84	214	298	0,717	0,283	0,343	0,657	0,736	0,264	0,282	0,718
Febrero	218	89	307	53	78	131	89	46	135	78	196	274	0,710	0,290	0,405	0,595	0,659	0,341	0,285	0,715
Marzo	217	92	309	44	95	139	98	45	143	100	239	339	0,702	0,298	0,317	0,683	0,685	0,315	0,295	0,705
Abril	262	104	366	56	88	144	100	42	142	86	162	248	0,716	0,284	0,389	0,611	0,704	0,296	0,347	0,653
Mayo	257	110	367	74	89	163	111	49	160	86	154	240	0,700	0,300	0,454	0,546	0,694	0,306	0,358	0,642
Junio	194	103	297	63	106	169	101	66	167	102	165	267	0,653	0,347	0,373	0,627	0,605	0,395	0,382	0,618
Julio	155	118	273	51	111	162	108	52	160	118	217	335	0,568	0,432	0,315	0,685	0,675	0,325	0,352	0,648
Agosto	189	103	292	72	101	173	104	72	176	105	184	289	0,647	0,353	0,416	0,584	0,591	0,409	0,363	0,637
Septiembre	195	109	304	56	97	153	112	43	155	98	190	288	0,641	0,359	0,366	0,634	0,723	0,277	0,340	0,660
Octubre	181	90	271	42	98	140	91	47	138	96	285	381	0,668	0,332	0,300	0,700	0,659	0,341	0,252	0,748
Noviembre	258	92	350	52	78	130	95	40	135	79	206	285	0,737	0,263	0,400	0,600	0,704	0,296	0,277	0,723
Diciembre	285	95	380	56	70	126	97	31	128	74	222	296	0,750	0,250	0,444	0,556	0,758	0,242	0,250	0,750
<i>Probabilidades medias anuales</i>													0,684	0,316	0,377	0,623	0,683	0,317	0,315	0,685

lores de la población, se puede considerar que la probabilidad de lluvia en el mes de mayo en Gijón es $P(1) = 0,474$.

La probabilidad de un día de lluvia condicionada a que haya llovido el día precedente $P_1(1)$, significa la probabilidad de que llueva un día de nuestro período, en este caso de mayo, suponiendo que ha llovido el día precedente, por tanto, los casos favorables a este suceso son todos los días que llueva en mayo precedido de día de lluvia, y los casos posibles son todos los días de lluvia que preceden inmediatamente a un día de mayo, luego los días posibles son los días de lluvia desde el 30 de abril al 30 de mayo, ya que el día siguiente al 30 de abril es el 1 de mayo y por tanto es de nuestro período, mientras que el día siguiente al 31 de mayo es el 1 de junio por lo que está fuera de nuestro período. Con los datos que disponemos, se han contabilizado 297 casos favorables y 444 posibles, y así la frecuencia relativa de día de lluvia precedida de día de lluvia es $\frac{297}{444} = 0,669$ y como es un estimador de máxima verosimilitud de $P_1(1)$ se puede decir que en Gijón, durante el mes de mayo, la probabilidad de un día de lluvia condicionada a que el día precedente sea de lluvia es $P_1(1) = 0,669$.

$P_{11}(1)$ es la probabilidad de día de lluvia en nuestro período, condicionado a que los dos días precedentes hayan sido lluviosos.

Para estimar este parámetro se considera como casos posibles todas las parejas de días lluviosos consecutivos que se obtengan entre el 29 de abril y el 30 de mayo, y como casos favorables todos los días de lluvia del mes de mayo, de manera que los dos días inmediatamente anteriores sean de lluvia. Se contabilizan 296 casos posibles y 184 favorables, por tanto, como en los casos precedentes, se puede decir que $P_{11}(1) = \frac{184}{296} = 0,622$.

Análogamente se determinan los valores $P_{01}(1) = 0,764$; $P_{10}(1) = 0,370$ y $P_{00}(1) = 0,265$.

Las probabilidades se obtienen de forma práctica como sigue:

$P(1)$ dividiendo los datos de la columna 1 entre los de la —.

$P_1(1)$ dividiendo los datos de la columna 11 entre los de la 1—.

$P_0(1)$ dividiendo los datos de la columna 01 entre los de la 0—.

$P_{11}(1)$ dividiendo los datos de la columna 11¹ entre los de la 11—.

$P_{10}(1)$ dividiendo los datos de la columna 10¹ entre los de la 10.

$P_{01}(1)$ dividiendo los datos de la columna 01¹ entre los de la 01.

$P_{00}(1)$ dividiendo los datos de la columna 00¹ entre los de la 00.

De la tabla 1 y de su representación gráfica (Fig. 1) se deducen las siguientes consecuencias:

1.º Existe persistencia de días de lluvia (también de días secos) en todos los meses del año, puesto que en cada mes y en las dos estaciones meteorológicas se verifica que $P_1(1) > P(1) > P_0(1)$.

2.º Si comparamos los valores de $P(1)$ para Gijón y para San Sebastián, se puede observar que son similares y próximos al 50 % en las dos estaciones meteorológicas, en todos los meses del año, excepto en verano, siendo en estos meses notablemente inferior la probabilidad de días de lluvia en Gijón respecto a San Sebastián, concretamente en el mes de julio en Gijón la probabilidad de día de lluvia es del 26,2 %, mientras que en San Sebastián es del 46,5 %. Esta diferencia tan notable entre la probabilidad de día de lluvia en Gijón y en San Sebastián, en los meses de verano, se explica por la mayor protección del anticiclón de las Azores a Gijón que a San Sebastián y, por tanto, el paso más frecuente de norte a sur de las borrascas por San Sebastián que por Gijón. Además, en estos meses, la temperatura del agua del mar es superior en San Sebastián respecto a Gijón, lo que favorece la evaporación y por tanto el que se produzcan más días de precipitación en San Sebastián que en Gijón. Por todo, podemos asegurar que el anticiclón oceánico tiene variaciones de estructura en función de la longitud a lo largo de la costa cantábrica.

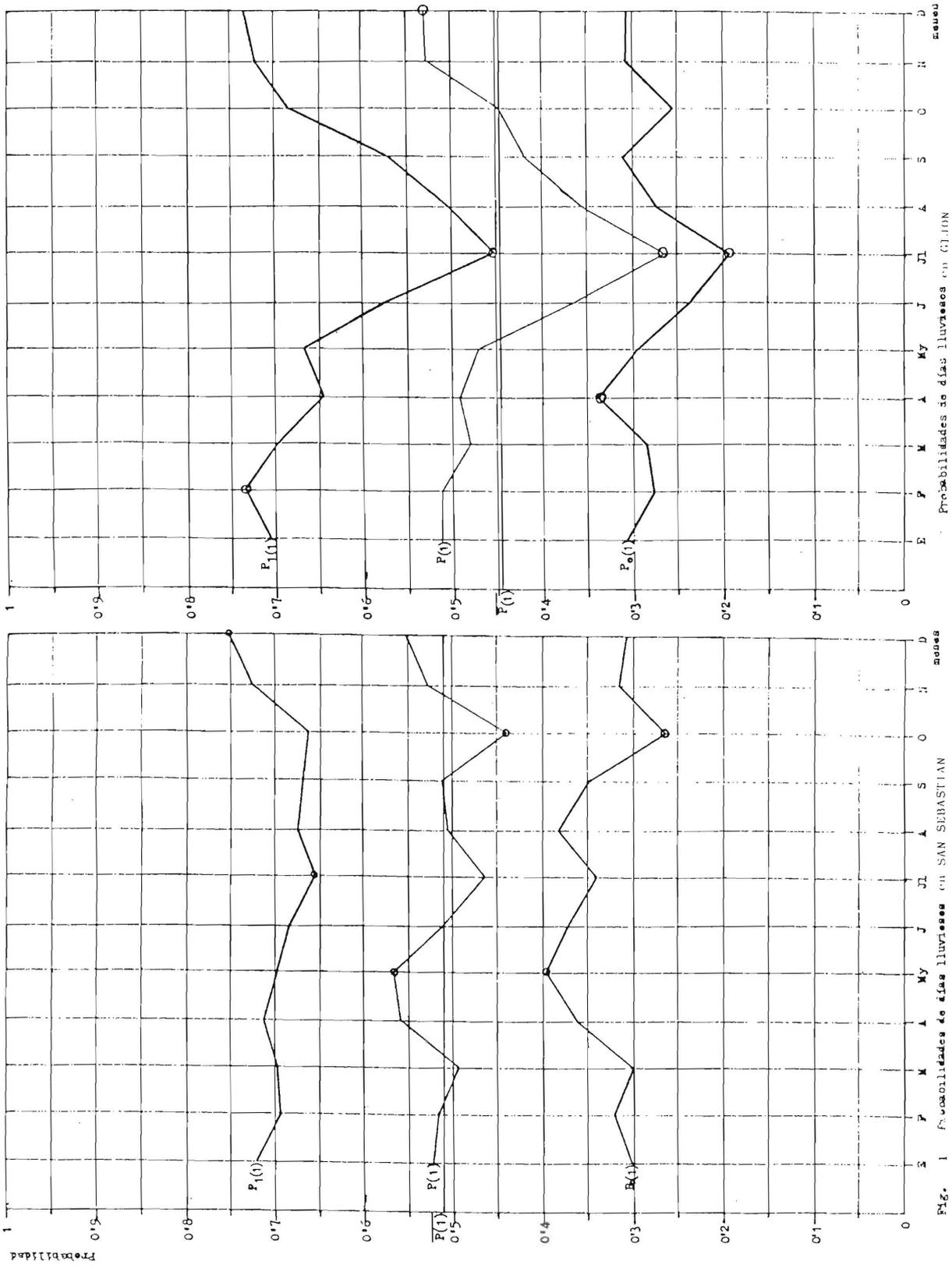


Fig. 1 Probabilidades de días lluviosos en SAN SEBASTIAN

3.º También destaca en San Sebastián un máximo de $P(1)$ en abril y mayo, bien señalado por Mounier (8). Es probable que se deba a que el sector oriental del anticiclón de las Azores empieza a extenderse, dando en el País Vasco vientos lluviosos de componente N.

4.º Los valores de $P_0(1)$ en San Sebastián, son menores en los meses de invierno que en los meses cálidos, lo cual no ocurre en Gijón, y esto es debido a que el anticiclón europeo de invierno protege más a San Sebastián que a Gijón en los meses fríos.

5.º Se puede observar que los valores de $P(1)$, $P_1(1)$ y $P_0(1)$ tienen un intervalo de oscilación mucho mayor para Gijón que para San Sebastián.

6.º Solamente en octubre tiene $P(1)$ un valor algo inferior en San Sebastián que en Gijón. Solamente en San Sebastián es $P_0(1)$ el mínimo y $P_{00}(0)$ el máximo del año del observatorio. Ello se debe a que en el País Vasco hay corrientes meridianas del sur por estar situado, particularmente en ese mes de octubre, en el borde del anticiclón que se establece sobre el continente europeo.

De la tabla 2 y de su representación gráfica (Fig. 2) se deduce:

1.º Tanto en Gijón como en San Sebastián lo que influye fundamentalmente para que un día llueva es lo que ocurre el día inmediatamente anterior, siendo mucho menos significativa la influencia de lo que ocurre dos días antes.

2.º Los valores de $P_{00}(1)$ en San Sebastián en invierno son menores que en verano, hecho que no ocurre en Gijón, así pues, se vuelve a notar la influencia del anticiclón europeo de invierno en San Sebastián respecto a Gijón. Asimismo, en todos los meses cálidos en Gijón $P_{01}(1) > P_{11}(1)$ mientras que en San Sebastián no ocurre esto, lo que indica una mayor influencia en estos meses del anticiclón oceánico en Gijón que en San Sebastián.

3. Probabilidad de que llueva o sea seco un día n días después de un día seco o lluvioso

Se define Q_n como la probabilidad de que llueva el día n ésimo sabiendo que el día cero se ha producido precipitación.

Se define q_n como la probabilidad de que llueva el día n ésimo sabiendo que el día cero ha sido seco.

S_n representa la probabilidad de que el día n ésimo sea seco, siendo seco el día cero; evidentemente para todo $n \in \mathbb{N}$, S_n y q_n son probabilidades completamente complementarias y por tanto $S_n = 1 - q_n$.

Se define s_n como la probabilidad de que el día n ésimo sea seco habiendo sido lluvioso el día cero; esta probabilidad es complementaria de Q_n y por tanto para todo $n \in \mathbb{N}$ se verifica $s_n = 1 - Q_n$.

Se hacen los cálculos de Q_n , q_n , S_n y s_n utilizando el modelo de Cadenas de Markov de 1.º orden.

Por lo expuesto anteriormente nos basta con calcular Q_n y q_n para conocer también S_n y s_n .

Q_0 representa la probabilidad del suceso "día con lluvia cero días después de que el día cero haya sido lluvioso", como este suceso es un suceso seguro, su probabilidad es uno.

Q_1 es la probabilidad de que llueva un día después de que el día cero haya sido lluvioso, por tanto $Q_1 = P_1(1)$.

Q_2 es la probabilidad del suceso "que llueva el día segundo, habiéndose producido precipitación el día cero".

Este suceso se puede descomponer en dos sucesos incompatibles, si lo referimos a lo que ocurre el primer día del período:

1.º Que habiendo llovido el día cero y el primer día llueva el 2.º, cuya probabilidad es $Q_1 \times P_1(1)$.

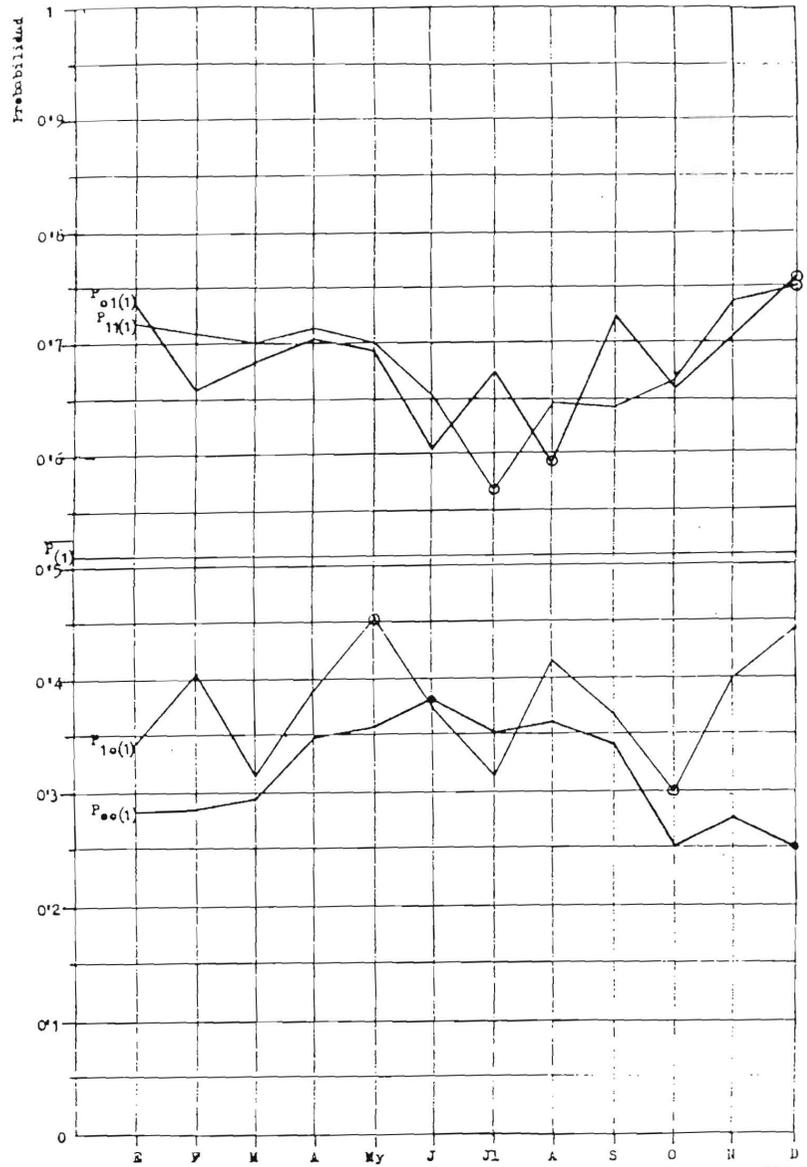
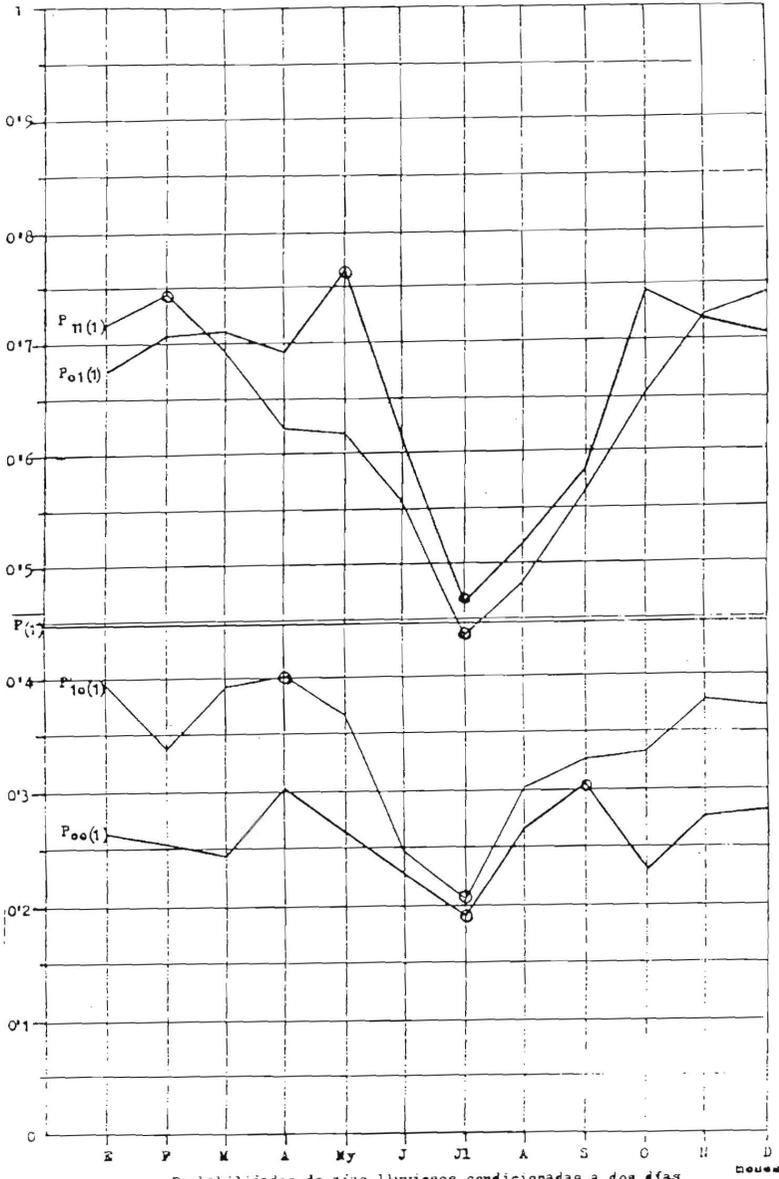


Fig. 2 - Probabilidades de días lluviosos condicionadas a dos días precedentes en SAN SEBASTIÁN



- Probabilidades de días lluviosos condicionadas a dos días precedentes en GIJÓN

todos los meses, Q_n , q_n , S_n y s_n , alcanzan rápidamente su posición límite, en la mayoría de los meses para el quinto día o antes, y los meses que más tardan en alcanzar el límite en Gijón, noviembre y diciembre, tardan ocho días. En San Sebastián en ningún mes se tarda más de seis días en alcanzar el límite.

2.^a En todos los meses en Gijón y San Sebastián para el tercer día ya se aproximan los valores de Q_n , q_n , S_n y s_n , a su límite en una cantidad menor o igual al 4 %.

3.^a Por lo dicho anteriormente la influencia de la característica de precipitación del día cero, en Gijón y en San Sebastián, es mínima a partir de que haya transcurrido el tercer día. Por tanto, la influencia de las unidades o sistemas meteorológicos, no sobrepasan, en mucho, de cuatro días.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ERIKSON, B: "Climatological study of persistency and probability of precipitation in Sweden". *Tellus*, XVII, n.º 4, pp. 484-497. Copenhagen. 1965.
- (2) FELLER, W: "An introduction to probability theory and its applications". Wiley. New York. 1957.
- (3) GABRIEL, K. R., and NEUMANN, J: "A Markov chain model for daily rainfall occurred at Tel Aviv". *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.*, vol. 88, pp. 90-95. Bracknell. 1961.
- (4) GARCÍA, M. S., y GARMENDIA, J: "Persistencia de los días con y sin precipitación en Salamanca". *Rev. de Geof.*, año XXVIII, n.ºs 110-111, pp. 339-378. Madrid. 1969.
- (5) LAMBAS, M: "Aplicación de la cadena de Markov al estudio de la precipitación en Salamanca". Universidad de Salamanca, p. 58. 1977.
- (6) LEDESMA, M: "Aerorritmos sobre la Península Ibérica". *Serv. Meteor. Nac.*, pub. A-61, p. 63. Madrid. 1974.
- (7) MATEO, P: "Persistencia de los días con precipitación y sin precipitación en Gijón (Costa Cantábrica de España)". *Serv. Meteor. Nac.*, pub. serie A, n.º 40, p. 87. Madrid. 1965.
- (8) MOUNIER, J: "La diversité des climats océaniques de la Péninsule Ibérique". *La Météorologie* VIe, serie n.º 16, Mars, pp. 205-227. París. 1979.
- (9) PÉREZ MANRIQUE, C., y otros: "Cálculo de las probabilidades que en un intervalo de n días, haya al menos un día de precipitación o un día seco". *Revista de Meteorología* (en prensa). Madrid. 1983.
- (10) —: "Probabilidad de que llueva exactamente k días en un período de n días consecutivos. *Revista de Geofísica* (en prensa). Madrid. 1983.
- (11) —: "Estudio de rachas secas y lluviosas en Gijón y San Sebastián". *Revista de Geofísica* (en prensa). Madrid. 1983.
- (12) URIARTE, A: "Régimen de precipitación en la costa NW y N de la Península Ibérica". Universidad de Zaragoza. Tesis doctoral. 1979.