

J. M. BERNABÉ MAESTRE

J. F. MATEU BELLÉS

## TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE PRECIPITACIONES APLICADO AL PAÍS VALENCIANO

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Metodología en el estudio climático

A pesar de las insuficiencias y críticas del tratamiento analítico del clima o «método tradicional»<sup>1</sup>, su ejecución es conveniente como trabajo previo al estudio dinámico, con el fin de conocer los elementos que constituyen las combinaciones reales del clima de una región<sup>2</sup>. Un sofisticado tratamiento estadístico de cualquier elemento del clima plantea numerosas cuestiones que sólo puede solucionar la dinámica general, si bien problemas atisbados en el estudio dinámico, por el contrario, hallan sólidos caminos de clarificación a través del tratamiento analítico. La climatología dinámica, además, a escala de País Valenciano, es incapaz de establecer las matizaciones que surgen del estudio analítico.

La definición dada por Julius Hann<sup>3</sup> y recogida por E. de Martonne<sup>4</sup> ha minimizado en exceso el tratamiento analítico al reducir el clima al «estado medio» de la atmósfera. Se ha utilizado casi exclusivamente la media como parámetro estadístico significativo, con todos los inconvenientes de tal simplificación, justificable en una época de escaso desarrollo. Además, la definición se acomoda mejor a los climas templados centroeuropeos, de dinámica com-

<sup>1</sup> PÉDÉLABORDE, P., *Le climat du Bassin Parisien*, París, Libr. de Médicis, 1957, 2 vols., pp. 42-57.

<sup>2</sup> ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M., «Los climas de Cataluña. Estudio de climatología dinámica», *Ediciones de la Universidad de Barcelona*, Barcelona, 1975, p. 7.

<sup>3</sup> HANN, J., *Handbuch der Klimatologie*, Wien, 1882, p. 1.

<sup>4</sup> MARTONNE, E. DE, *Tratado de geografía física*, Barcelona, Editorial Juventud, 1973, 3 tomos, 2.ª edición. Cfr. t. I, p. 124.

pleja, pero muy constante, mientras que, por su posición geográfica, los mediterráneos, enclavados en el dominio de los climas dependientes, muestran acusadas irregularidades y gran variabilidad de los distintos elementos del clima. El amplio predicamento del método tradicional en las tesis de los geógrafos españoles, con excepciones tan innovadoras como la obra de López Gómez<sup>5</sup>, se debe, por una parte, a nuestra formación humanística, con débil bagaje matemático, y, por otra, a la ausencia de crítica previa de las metodologías desarrolladas para realidades geográficas diferentes.

Como aproximación metodológica se presenta el tratamiento de precipitaciones anuales y mensuales sobre la base de tres estaciones pluviométricas del País Valenciano (València, Alacant, Alcoi) en los últimos cincuenta años. El trabajo no se centra tanto en la comprensión genética del clima y sus mecanismos globales, sino en analizar los datos básicos y fundamentales de las precipitaciones en su reparto temporal y espacial, su frecuencia por su interés con respecto a la incidencia geomórfica, hidrológica y aprovechamiento agrario e industrial. Mes y año oficiales no son, ciertamente, las mejores unidades temporales para la cuantificación de los diversos episodios pluviales, pero se impone como criterio práctico, ya que así se hallan tabulados en el Servicio Meteorológico Nacional. Por el momento, además, se adolece de mejores alternativas, pese a constituir un ambicioso campo de investigación.

### 1.2. *Hipótesis estadística en el tratamiento de precipitaciones*

Cincuenta años es el período de observaciones tratadas, número limitado que puede considerarse muestra de los totales de precipitaciones de todo el período en que las características climáticas han sido iguales a las actuales. El análisis de la distribución de frecuencias es la base de partida de la que se obtienen una serie de parámetros que la sintetizan. Condiciones climáticas distintas tendrían una distribución de frecuencias diversa y, por tanto, diferentes parámetros.

El clima, como tendencia media, cambia continuamente. Difícilmente se puede admitir que la probabilidad de que ocurra una precipitación determinada (por ejemplo, 500 mm en un año) no varía con el tiempo. Es conocida la existencia de grupos de años secos o períodos de lluvias abundantes. Se dan tendencias crecientes o decrecientes con duración relativamente grande, por lo que, en líneas generales, cada año tendería a llover más que el anterior, en caso de ser creciente la tendencia. Por tanto, la cantidad de precipitación de un período depende, en alguna medida, del anterior: es decir, los sucesos no son independientes estadísticamente.

Facilita el trabajo estadístico la condición de independencia de los sucesos. Podría concluirse, por tanto, que el tratamiento realizado no es el adecuado al problema planteado. Ahora bien, la dependencia de las precipitaciones es pe-

<sup>5</sup> A mediados de los años cincuenta debe destacarse la aportación del profesor doctor LÓPEZ GÓMEZ a los estudios de climatología dinámica, dentro de la geografía.

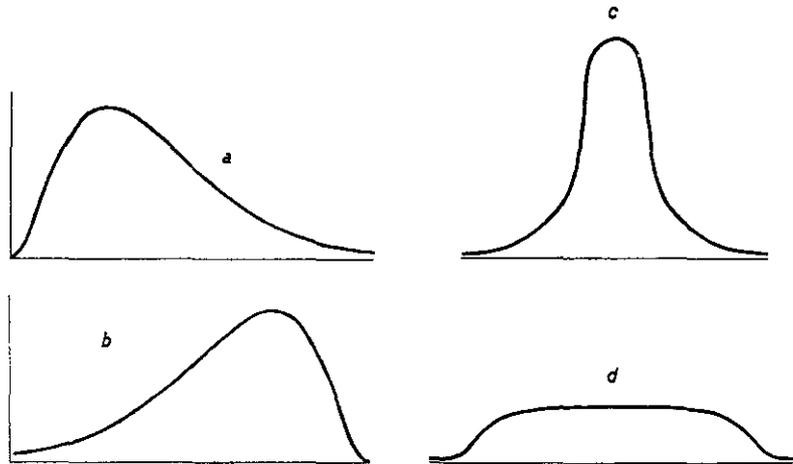
queña cuando se consideran períodos anuales<sup>6</sup> y grande la conveniencia de hallar parámetros de cálculo sencillo.

### 1.3. Parámetros significativos

Cualquier tratado estadístico propone los parámetros siguientes como configuradores de la forma de distribución de frecuencias:

- a) Una medida de centralidad que significa el punto en torno al cual se agrupan todas las observaciones.
- b) Un coeficiente de dispersión que mide el grado de agrupamiento de las observaciones alrededor del punto central.
- c) Un coeficiente de asimetría que indica si la dispersión es idéntica o no a ambos lados del punto central. Este coeficiente da valores positivos cuando la dispersión a la derecha del punto central es mayor que a la izquierda; negativos, en caso contrario. El primer caso caracteriza las distribuciones de frecuencias de las precipitaciones anuales y mensuales, ya que ciertas precipitaciones ocasionales alcanzan valores extraordinarios muy superiores a la medida de centralidad. La distancia entre precipitaciones débiles y valor central suele ser muy inferior a la existente entre valor central y precipitaciones elevadas (vide gráf. 1, *a-b*).

GRÁFICO NÚM. 1



Tipos de distribuciones: *a*, asimétrica a la derecha (positiva); *b*, asimétrica a la izquierda (negativa); *c*, leptocúrtica; *d*, platocúrtica.

<sup>6</sup> GONZÁLEZ QUIJANO, P. M., *Mapa pluviométrico de España*, Madrid, C.S. I. C., 1946. Observa este hecho en las pp. 95-96 al tiempo que señala, en la p. 265, un coeficiente de dependencia para los semestres de 0'304.

- d) Puede calcularse adicionalmente el coeficiente de Kurtosis, que mide si la curva es más empinada que la normal o menos, es decir, si su forma es escarpada o, por el contrario, aplastada. En otras palabras, si se da un punto en el que se concentran las observaciones, o queda difuminado, o no existe (vide gráf. 1, c-d).

De todos modos, no es suficiente el cálculo de los parámetros, puesto que adicionalmente debe señalarse su campo de variación. Dos parámetros iguales pueden tener sentidos diferentes si su campo de variación es distinto o, por el contrario, el mismo sentido con valores diversos. Por otra parte, el cálculo del campo constituye una autocritica acerca del grado de validez de los valores obtenidos y previene contra la pretensión de considerarlos valores absolutos y fijos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. *Parámetros significativos y campos de variación*

La elección de los parámetros depende de la forma de la curva de distribución: se suelen calcular los de asimetría y kurtosis en los momentos de orden 1, 2, 3 y 4<sup>7</sup>. Pero este proceso, excesivamente laborioso, puede sustituirse por otros menos precisos, aunque suficientes: bien comparando si las frecuencias relativas ajustan con las probabilidades de la curva normal para los cuartiles y primer y último decil o bien trazando los puntos sobre un papel de probabilidades, donde se comprueba si tienden a la recta.

La distribución de precipitaciones es generalmente asimétrica y, por tanto, es mejor utilizar la mediana como punto central y los valores a ella asociados, cuartiles y deciles. En este caso, la desviación intercuartílica muestra la medida de dispersión y los restantes parámetros se calculan como sigue:

*Dispersión relativa:*

$$\frac{Q_3 - Q_1}{M_0}$$

*Coficiente de asimetría de Yule:*

$$S = \frac{(Q_3 - M_0) - (M_0 - Q_1)}{(Q_3 - M_0) + (M_0 - Q_1)} \quad \text{o bien} \quad \frac{Q_1 + Q_3 - 2Q_2}{2Q_2}$$

<sup>7</sup> El momento de orden  $r$  es la media aritmética de los valores elevados a la potencia  $r$ . Así, el momento de orden 1 es la media aritmética. En general, se suelen utilizar los momentos centrados, que son las medias de las diferencias con respecto a la media elevadas a la potencia  $r$ .

$$\mu_r = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^r$$

$S < 0 \rightarrow$  cola a la izquierda

$S > 0 \rightarrow$  cola a la derecha

$S = 0 \rightarrow$  sin cola

*Coefficiente de kurtosis de Kelley:*

$$K = \frac{Q_3 - Q_1}{2(D_9 - D_1)}$$

$0.263 > K > 0 \rightarrow$  platocúrtica o aplastada

$0.263 < K < 0.5 \rightarrow$  leptocúrtica o escarpada

El problema de significación de los parámetros se reduce al de la mediana, cuartiles y deciles. Los errores de estos valores dependen del número de años tratados y de la desviación típica de la distribución. En general, cuando se trabaja con más de treinta observaciones, se supone que se ordenan normalmente en torno a un valor central, y puede utilizarse, por tanto, la distribución normal para estimar los intervalos de confianza. Se expone el proceso de cálculo seguidamente, para intervalos con probabilidad superior al 95 %, es decir, existe el 95 % de probabilidades de que el valor buscado (por ejemplo, la media) se encuentre dentro del intervalo señalado o, dicho de otro modo, que en el 95 % de los casos las medias halladas con el número de años manejados se encontrarán dentro del intervalo que se señala.

Para la media:

$$\bar{x} \pm \frac{1.96 \sigma}{\sqrt{N}}$$

Para la mediana:

$$M_0 \pm 1.2533 \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Para los cuartiles:

$$Q \pm 1.3626 \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

siendo  $N$  el número de años, y  $\sigma$  puede estimarse mediante la desviación típica de la distribución.

Puesto que todos tienen como denominador  $\sqrt{N}$ , es obvio que, cuanto mayor sea el número de años, mayor será el grado de precisión de los resultados obtenidos y más reducidos los intervalos de confianza.

El cálculo de la mediana, cuartiles y deciles podría efectuarse directamente sobre la distribución de frecuencias, pero, dado que se trabaja con un número reducido de observaciones, es más exacto ajustar previamente la distribución a una curva de frecuencias.

## 2.2. La curva de probabilidades

A condición de disponer de una cantidad suficiente de observaciones, la curva de probabilidades, ajustada a la distribución de frecuencias, proporciona una información más precisa y amplia que los parámetros hasta ahora propuestos. El diverso comportamiento de las precipitaciones anuales y mensuales hace necesario tratarlos por separado.

### 2.2.1. Precipitaciones totales anuales

Si la distribución de frecuencias no es muy asimétrica, se trabaja con una curva normal y, en caso contrario, mediante la transformación logarítmica de los valores. En el primer caso se calcula la media y la desviación *standard*, y en el segundo, la media del logaritmo de las precipitaciones y la desviación típica de los mismos valores. Con ellos se obtienen las variables tipificadas mediante la transformación siguiente:

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad \text{o bien} \quad \frac{\log x - \log G}{\log \sigma_G}$$

siendo  $x$  la precipitación en mm,  $\bar{x}$  la media de las precipitaciones y  $\sigma$  la desviación *standard*; mientras, en el segundo caso,  $G$  es la media de los logaritmos de  $\bar{x}$ , y  $\sigma_G$ , su desviación típica.

En una tabla de probabilidades de la curva normal se hallan los valores correspondientes a las variables tipificadas. Si bien los dos tipos dan ajustes semejantes, la curva transformada refleja el sesgo («cola») a la derecha y, por tanto, parece más útil, pues las precipitaciones extraordinarias adquieren una gran relevancia en este estudio.

Se debe, finalmente, contrastar la validez de la curva teórica obtenida. Puesto que el conocido *test*  $\chi^2$  de adecuación obliga al agrupamiento de los datos, con lo cual no se comprueba el ajuste en los extremos de la curva, se propone como más apropiado el *test* de Kolmogorov-Smirnov<sup>8</sup>. Consiste simplemente en hallar las diferencias entre los valores del ajuste y las frecuencias, seleccionar la mayor diferencia y comprobar si supera los valores críticos de la tabla.

Todos estos cálculos no deben llevarse a cabo si el grado de confianza es pequeño, lo cual depende de la desviación *standard* y del número de años. Por tanto, cuanto mayor sea la desviación típica (es decir, la variabilidad climática), mayor número de años deberán tratarse.

<sup>8</sup> GROUPE CHADULE, *Initiation aux méthodes statistiques en géographie*, Paris, Masson et Cie., 1974, pp. 79-81, y la correspondiente tabla de valores críticos, en p. 185.

### 2.2.2. Precipitaciones mensuales

Las precipitaciones mensuales presentan valores de asimetría y kurtosis muy alejados de la normal, por lo que el tipo de curvas hasta ahora comentadas son poco precisas, y sucede lo mismo con las transformadas, ya que en algunos meses no se registran precipitaciones. Parece, pues, mejor ajustar un tipo III de Pearson, tal como se ha efectuado en un estudio de las precipitaciones mensuales de los Alpes y costa mediterránea francesa. Observan sus autores que las curvas  $\Gamma$  incompletas (variante de las citadas anteriormente) ajustan especialmente bien <sup>9</sup>.

La curva está definida:

$$F(P) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^{P/\mu} e^{-z} z^{\lambda-1} dz$$

siendo  $\lambda = \bar{x}^2/S_x^2$ ,  $\mu = \bar{x}/\lambda$  y  $P$  la precipitación mensual. El proceso de cálculo seguido para obtener las probabilidades  $F(P)$  se expone en el apéndice I, si bien una aproximación se obtiene mediante los ábacos del Groupe Chadule <sup>10</sup>.

Puesto que para los cálculos únicamente se utiliza la media y la desviación *standard*, es conveniente recordar la observación realizada en el apartado 2.2.1, y al mismo apartado se remite a propósito del *test* de la curva.

## 3. METODOLOGÍA APLICADA AL PAÍS VALENCIANO

### 3.1. Períodos críticos y estaciones

Previamente a la aplicación de la metodología hasta ahora expuesta, en las estaciones pluviométricas de València, Alacant y Alcoi se llevó a cabo un sondeo con las observaciones de Alacant en los últimos cien años. Con ello se obtuvo en los totales anuales una media de 350 mm, con un intervalo de confianza de  $\pm 24$  mm. Ya que la desviación *standard* era de 131 mm, una aproximación en el cálculo de la media superior al 90 % exigía cincuenta y cuatro años de observaciones. Para una aproximación del 80 % eran suficientes trece años, todo ello con un grado de confianza del 95 % y una distribución normal de las medias.

La cata de las medias mensuales se realizó únicamente en los parámetros del mes de octubre, con una media de 50 mm y la desviación *standard* de 52 mm. El intervalo de variación de la media se situaba en  $\pm 27$  mm., por lo que para conseguir una aproximación del 90 % se debería disponer de cuatrocientos once años; tal número de años, aparte la imposibilidad de conseguirlos, se verán

<sup>9</sup> SAINTIGNON, M. F., *et. al.*, «Les pluies d'août et septembre 1968 dans les Alpes», *Revue de Géographie Alpine*, LVII (1969), p. 349.

<sup>10</sup> GROUPE CHADULE, *op. cit.*, pp. 182-183.

influidos por cambios climáticos tan importantes que restarían significación a la media. Esta cifra tendría interés en el caso de que los sucesos fueran independientes. Una aproximación del 80 % necesitaba cien años de observaciones y un trabajo de cincuenta años podía alcanzar una variabilidad en las medias del 26 %<sup>11</sup>.

Dado que resulta muy difícil disponer de series superiores a cincuenta años, se impuso el criterio práctico de tabular algunas de las más completas del País Valenciano al tiempo que se buscaban ejemplos de condiciones geográficas distintas: València y Alacant, estaciones situadas junto al mar, y Alcoi como un ejemplo de montaña media.

Del mismo modo, en el sondeo de la estación de Alacant, se comprobó que los parámetros de asimetría y kurtosis eran muy bajos en los totales anuales ( $Sk$  de Kelley = + 80;  $K$  de Kelley = + 0'262), por lo que resulta aceptable el ajuste a la curva normal. Los valores de la media y la mediana se hallan muy cercanos ( $x = 350$  y  $M_e = 325$  mm). Por el contrario, los parámetros de octubre eran muy elevados (asimetría de Yule, 0'3684), y así, el valor de la media ( $x = 50$  mm) y de la mediana ( $M_e = 34$  mm) aparecen muy dispares.

### 3.2. Totales anuales

Durante el período 1925-74, los valores de las medias de los totales anuales de precipitaciones son, para Alacant, de 327'9 mm, con un intervalo de confianza de  $\pm 29'8$  mm; en València, 422'4  $\pm 45'1$ , mientras en Alcoi es de 519'6 y  $\pm 42$  mm. Esto supone que el número de años mínimo para obtener medias con una confianza del 90 % varía de unas estaciones a otras: treinta y tres años en Alcoi, cuarenta y uno en Alacant y cincuenta y siete en València.

Se ha ajustado, tal como aparece en el gráfico 2, una curva normal con transformación logarítmica, según se ha visto en el apartado 2.2.1; pero como todas ellas tienen parámetros de asimetría y kurtosis muy bajos (asimetría +

<sup>11</sup> Se ha calculado de la siguiente manera: un error del 10 % supone que la media variará  $0'1 \cdot \mu$  ( $\mu$  es la media de la población, mientras que  $\bar{x}$  lo es de la muestra tomada). Como ya se sabe que el error del cálculo de la media con un grado de confianza del 95 % es:

$$1'96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

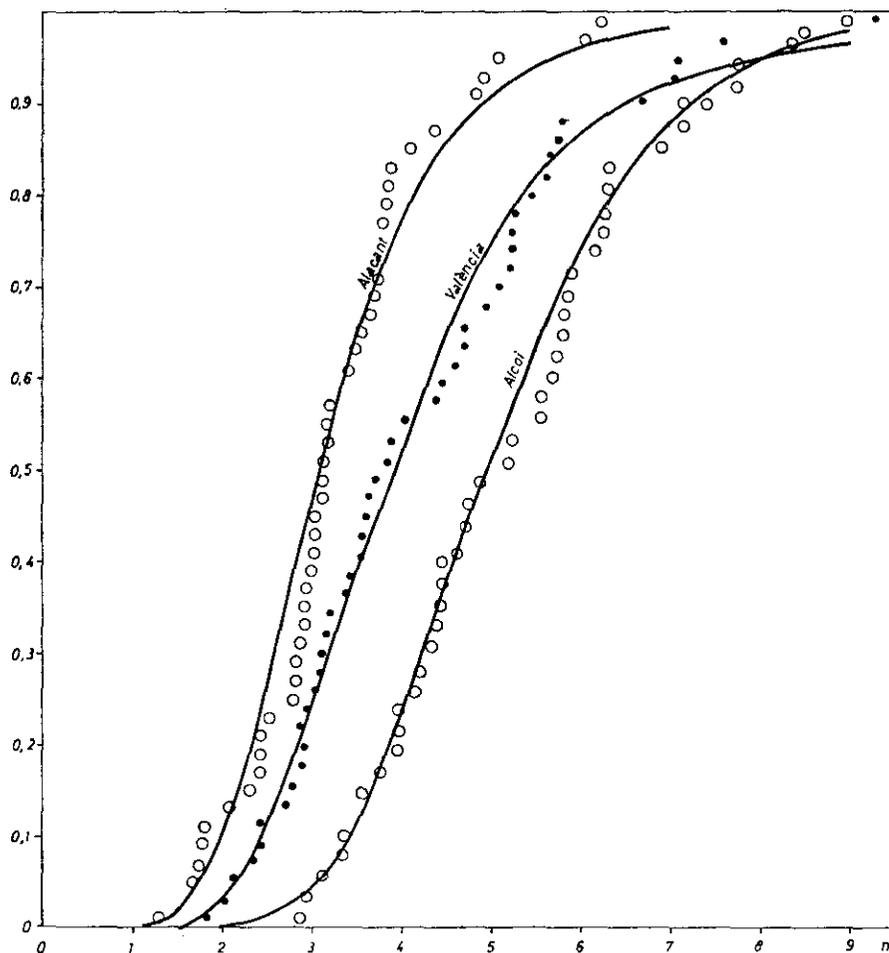
$\sigma$  es la desviación típica, y  $N$ , el número de años; entonces el problema consiste en que el error de la media sea igual o menor que  $0'1 \cdot \mu$ . Como  $\mu$  es desconocido, se le estima con  $\bar{x}$  y el cálculo se puede formular:

$$1'96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \leq 0'1 \bar{x}$$

despejamos  $N$ :

$$\left( \frac{1'96 \cdot \sigma}{0'1 \bar{x}} \right)^2 \leq N$$

GRÁFICO NÚM. 2



Ajuste de las precipitaciones totales anuales \*: En el gráfico aparecen tres curvas desplazadas: cuanto más a la derecha, más húmeda es la estación; cuanto más vertical, mayor concentración en torno al valor central. Pueden ser utilizadas para apreciar la probabilidad de que no se alcance un valor determinado de precipitaciones (o alternativamente de ser superado), así los 300 mm no son alcanzados el 44'5 % de los años en Alacant, el 22 % en València y el 8'5 % en Alcoi.

\* Test de Kogmogorov-Smirnov, valor crítico para  $\alpha = 0'10$ : València, 0'08; Alcoi, 0'07; Alacant, 0'065. Las diferencias entre los valores observados y ajustados deben ser inferiores a 0'174 en el 90 % de los casos, por lo que una diferencia superior señalaría un ajuste imperfecto, con una probabilidad de error del 10 %. Ajuste por una ley normal de media 2'4936 y desviación típica 0'1449 (logaritmos de la media geométrica y su desviación típica, respectivamente) en Alacant; 2'70007 y 1'253 en Alcoi; 2'597 y 0'159 en València. Las frecuencias observadas han sido estimadas por el artificio  $(2i - 1)/2n$ , siendo  $i$  el rango del valor observado ordenado de menor a mayor y  $n$  el número de casos.

+ 0'1 en Alcoi, + 0'14 en Alacant, y en València, + 0'05), igualmente podía haberse ajustado una curva normal. Dadas las complicaciones de cálculo de las curvas de Galton, es más cómodo trabajar con la curva normal, especialmente si no se precisa obtener los deciles.

En el cuadro I tanto la media como la mediana muestran, en el caso de Alacant, una tendencia semiárida, mientras, por el contrario, València y Alcoi son más lluviosas. Existen, sin embargo, diferencias entre Alcoi y València: en tanto en València, un año de cada cuatro, registra valores alrededor de 300 mm y, uno de cada diez, menos de 250 mm, Alcoi difícilmente totaliza precipitaciones anuales inferiores a 350 mm. En ambos casos, la capacidad de elevados totales anuales es semejante. Alacant, por su parte, de cada diez años uno registra tan sólo 200 mm de precipitación, y mientras difícilmente se superan los 500 mm, ese valor, en Alcoi, es aproximadamente el de la media y de la mediana.

CUADRO I  
*Media y distribución de frecuencias ajustadas  
de los totales anuales*

	València	Alacant	Alcoi
$\bar{x}$	422'4	327'9	519'6
0'10	247'3	203'2	346'5
0'25	308'6	248'8	412'6
0'50	359'2	311'6	501'3
0'75	505'9	390'3	608'9
0'90	631	477'6	725'2
0'95	721'8	539'5	805'8

Puesto que todos los cálculos se basan sobre la media y la desviación típica, se ha intentado medir la posibilidad de variación de la media. Para ello, se han obtenido medias móviles de veinte años en Alacant y València y se ha confeccionado un histograma de su distribución. Se observa cierta gradación temporal que abre el camino a un estudio más amplio sobre tendencias climáticas. Una de cada cuatro medias, según el cuadro II no alcanza los 392 mm en València y una de cada cuatro supera los 448 mm. El 80 % de las medias se distribuye entre 473 y 374 mm, con un campo de variación de 100 mm (40 mm inferior al estimado según la curva normal). Alacant, por su parte, presenta una variabilidad más acusada, ya que el 80 % se agrupa entre 275 y 410 mm, con un campo de variación de 135 mm, superior en unos 40 mm al estimado por el mismo procedimiento. La caracterización del clima en ambas ciudades puede variar, según el período considerado: los 275 mm de Alacant y los 374 de València, en el decil inferior, implican un clima árido en el primer caso y estepario en el segundo, mientras que los 410 y 473 mm de Alacant y València, respectivamente, en el decil superior, permiten definir ambas estaciones como de clima mediterráneo relativamente húmedo.

CUADRO II  
*Distribución de las medias de precipitaciones anuales*

Frecuencia acumulada	València P. en mm	Alacant P. en mm
0'10	374	275
0'25	392'5	313
0'50	431	350
0'75	448	386
0'90	473	410

### 3.3. Totales mensuales

El genérico clima mediterráneo al que pertenecen, por su posición geográfica, las tres estaciones aquí analizadas se caracteriza por la irregularidad. Aparecen muy marcadas las elevadas precipitaciones del otoño entre la acusada sequía veraniega y el mínimo secundario invernal, al que sucede un máximo secundario en primavera. En el siglo actual, la localización mensual de máximos parece que ha experimentado un adelantamiento, excepto en Alacant, con un clima menos dependiente que el de València y Alcoi. En el cuadro III se comparan las series de las medias establecidas por Kunow<sup>12</sup> en los primeros años de nuestro siglo y las actuales.

Mientras en València, en la primera parte del año, se observa en ambas series medias muy constantes, centradas actualmente en mayo, por el contrario, el máximo principal de otoño se ha desplazado de noviembre (según Kunow) a octubre. Máximo interés presenta el fenómeno detectado en la montaña de Alcoi, donde igualmente se ha adelantado el máximo de noviembre, al tiempo que todas las estaciones muestran un claro máximo secundario de diciembre-enero que, al inicio de la actual centuria, se centraba en febrero. Queda planteada, pues, una interesante cuestión de dinámica general cuya hipótesis se margina, por el momento.

Tal como se había comentado en el apartado 2.2.2, los coeficientes de desviación son muy elevados. La desviación relativa siempre es superior a uno<sup>13</sup>. Por tanto, el grado de confianza de los parámetros calculados para los meses es muy inferior a los de los totales anuales. Del mismo modo, y corroborando lo dicho anteriormente, los valores de la asimetría son altos (son normales coeficientes entre 0'25 y 0'30, alcanzándose en algunos casos 0'50, e incluso 0'75). Coeficientes tan exagerados implican que la localización de la media se halla muy desplazada por el peso de las precipitaciones extraordinarias. Si la media ha de ser el indicador en torno al cual se agrupan normalmente las observacio-

<sup>12</sup> KUNOW, P., *El clima de Valencia y Baleares*, Valencia, Instituto de Geografía, 1966, 239 pp.

<sup>13</sup> La desviación relativa es el coeficiente  $\sigma/\bar{x}$ .

CUADRO III  
*Medias de principios de siglo y actuales*

		En.	Fb.	Mz.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sep.	Oc.	Nov.	Dic.
València . . . . .	1914-25	24	22'5	27'9	33'5	37'6	37'3	7	10	59	48'5	81'1	27'2
	1943-67	24	33'4	27'6	27'8	30'8	23'8	6'3	24'5	50'1	103'7	40'2	41'6
Alcoi . . . . .	1914-25	33'6	54'6	50'2	45'6	49	23'9	6'5	7'1	37	47	102'6	40'7
	1931-73	57'3	48'1	45'4	54'6	39'9	31	7'4	7'8	64'8	91'6	40	75
Clau de la Trompa.	1911-24	62	76'2	57'2	72'2	64	33'6	10'5	6'3	41'7	55'9	156'8	53'1
Alcoleja . . . . .	1953-70	69'6	48'7	47'6	50'7	47'8	56'6	5	11'6	44	120'5	75'5	88'7
Callosa d'En Sarrià.	1914-27	22'6	51'1	35'2	34'8	25'5	20'6	4'1	8	28'3	46'4	70	29'1
	1955-74	55'1	47'4	49	41'4	32'6	26'3	1'7	5'7	39'4	139'3	59'6	94'5

nes, no hay duda, tal como aparece en el cuadro IV, de que, en este caso, no lo es. Por tanto, los valores de dispersión con respecto a la media son también poco significativos. Es necesario insistir, pues, en trabajar con medianas, cuartiles y deciles y los parámetros deducidos de estos valores (asimetría de Yule, kurtosis de Kelley, desviación intercuartílica, etc.).

CUADRO IV  
*València 1925-1974*

Mes	Media	Mediana
Enero . . . .	27'1	18
Febrero . . . .	31'3	19'5
Marzo . . . .	29'6	22'5
Abril . . . .	27'4	19'5
Mayo . . . .	31'3	22'5
Junio . . . .	29'7	20
Julio . . . .	7'4	3'5
Agosto. . . .	19'8	12'5
Septiembre . .	50'5	36
Octubre . . . .	86'8	55
Noviembre . . .	42'6	24'5
Diciembre. . .	41'2	29'5

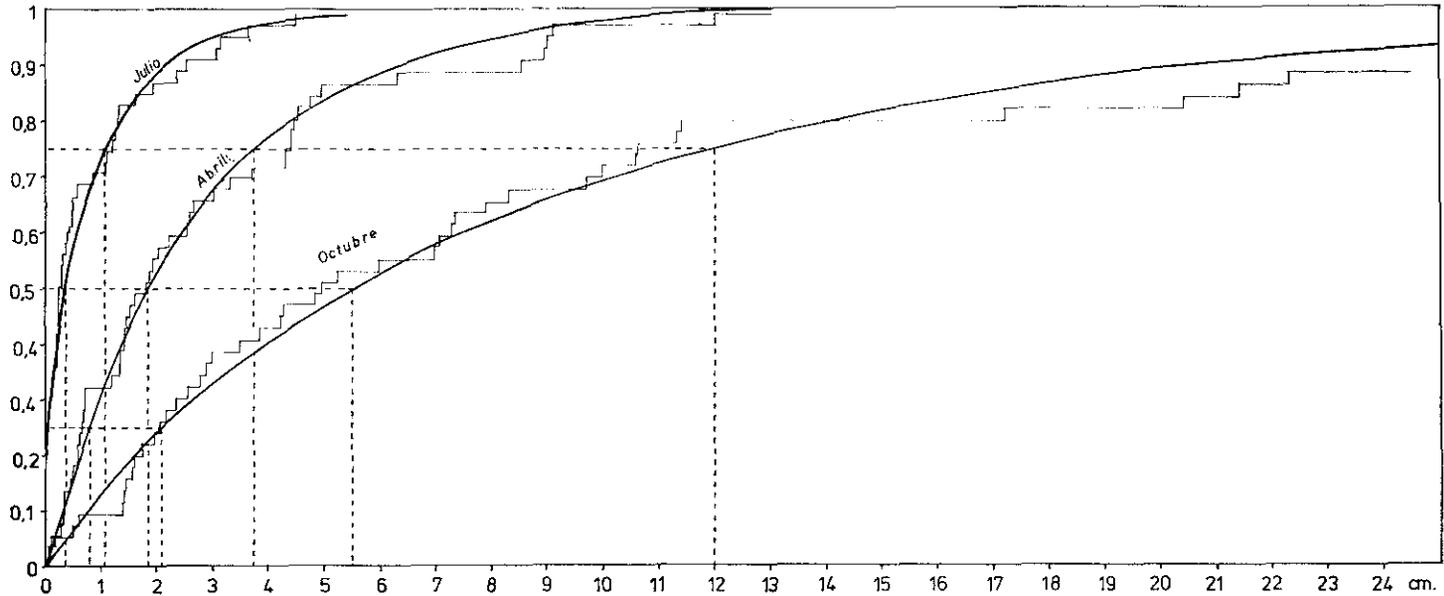
Ahora bien, dado el bajo nivel de confianza de la muestra estadística, se hace particularmente aleatorio obtener estos valores a partir de las frecuencias, ya que la variabilidad aumenta en la medida en que disminuye el número de casos. Parece más adecuado, según se ha visto en el apartado 2.2.2, obtenerlos a partir de un ajuste mediante una curva  $\Gamma$  (vide un ejemplo en el gráfico 3). Con este criterio se han ajustado las distribuciones de frecuencias de todos los meses de las tres estaciones. La información así obtenida se resume en gráficos, expresada como cantidad de precipitaciones, superable con una probabilidad dada <sup>14</sup>.

Los coeficientes de desviación, representados en el gráfico 4, presentan elevados valores y significativas variaciones: el valor máximo de julio, con rápido ascenso y bajada más suave (agosto-septiembre). Alacant se muestra menos irregular que València durante todo el año, excepto en los meses de verano, en los que la irregularidad de Alacant es la mayor de las tres estaciones. En el mes de febrero, las tres estaciones tienen una irregularidad alta, aunque menor que la veraniega. Parece, pues, que la sequía se correlaciona con la fuerte irregularidad.

En cuanto a los coeficientes de asimetría, según el gráfico 5, son todos muy altos y desplazados a la derecha, excepto enero de Alacant, que es nulo. Durante el verano presenta valores más elevados, con máximo en julio. Este índice

<sup>14</sup> LAMBERT, R., *Recherches hydrologiques dans le Sud-Est du Bassin Garonnais*, Toulouse, Université Toulouse-Le Mirail, 1975, 2 vols., pp. 276-309.

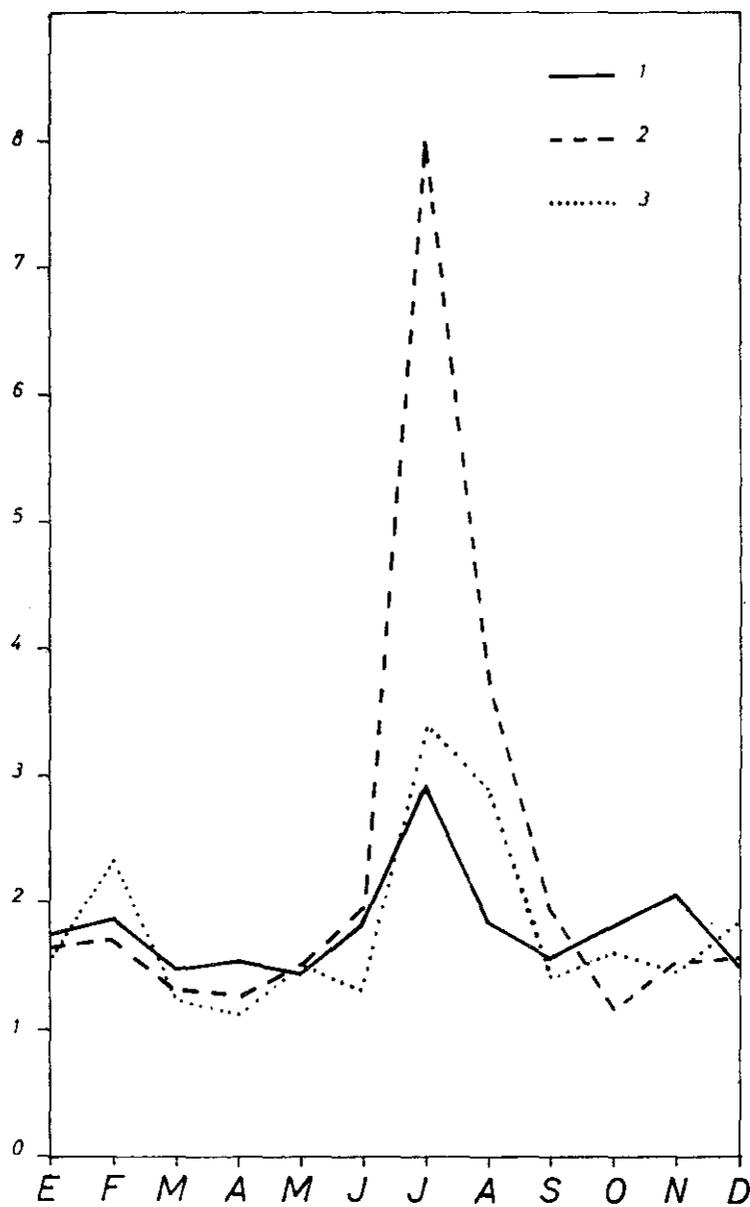
GRÁFICO NÚM. 3



Ajuste de curvas  $\Gamma$  a las precipitaciones mensuales de València \*: Las curvas cuando más desplazadas a la derecha corresponden a meses más lluviosos. El mes de julio inicia con la probabilidad 0'2 (20 % de los años sin llover). La amplitud del intervalo intercuartílico señala la gran dispersión de los valores (menor en julio, muy grande en octubre). El hecho de que el último intervalo por arriba de  $Q_3$  sea mucho más extenso que todo el resto de la curva muestra la elevada asimetría de las precipitaciones mensuales (las líneas de trazos indican la mediana y los cuartiles): Así, en octubre hay un 75 % de probabilidades de que llueva de 0 a 120 mm y un 25 % de que alcance entre 120 y 360 mm (240 mm de amplitud).

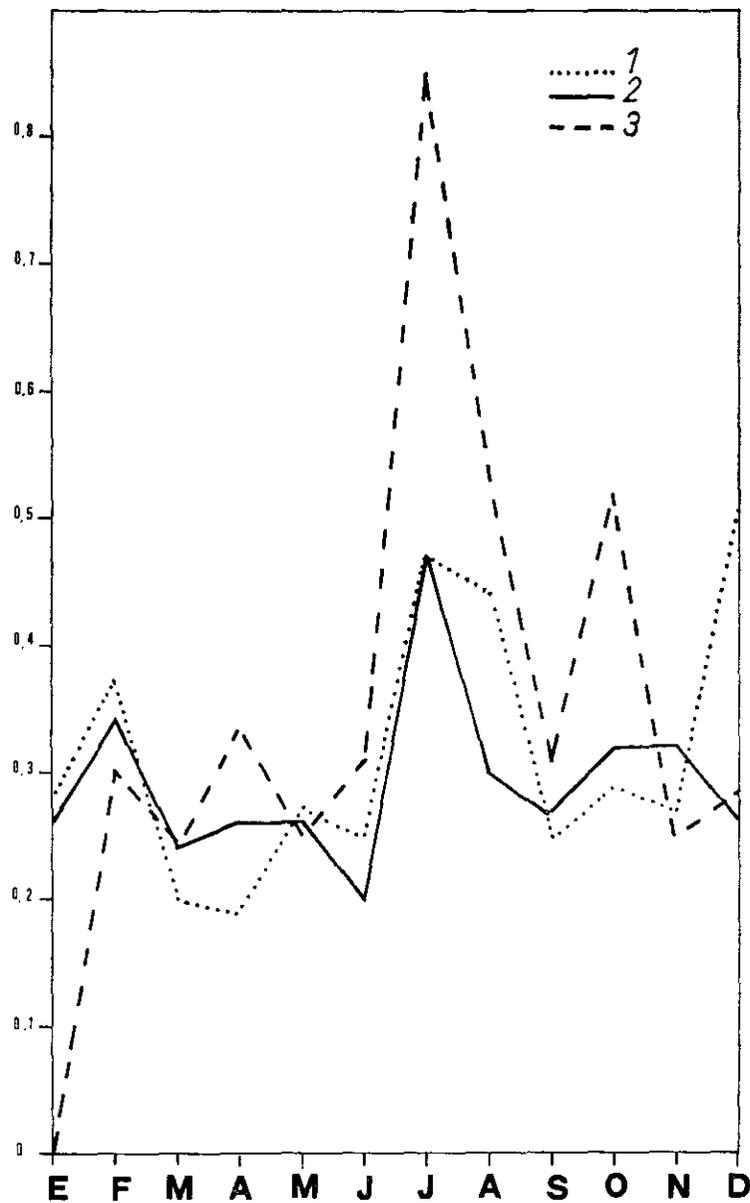
\* Test de Kogmogorov-Smirnov, valor crítico para  $\alpha = 0'10$ , 0'174. Diferencias máximas: julio, 0'085; abril, 0'085; octubre, 0'095. Valores de  $\lambda$  en la ley  $\Gamma$  del ajuste: julio, 0'897048; abril, 0'941458; octubre, 0'791510.

GRÁFICO NÚM. 4



Coefficientes de desviación relativa: 1, València; 2, Alacant; 3, Alcoi

GRÁFICO NÚM. 5



Coefficientes de asimetría de Yule: 1, Alcoi; 2, València; 3, Alacant

aumenta rápidamente a partir de junio y desciende de modo más lento en agosto y septiembre.

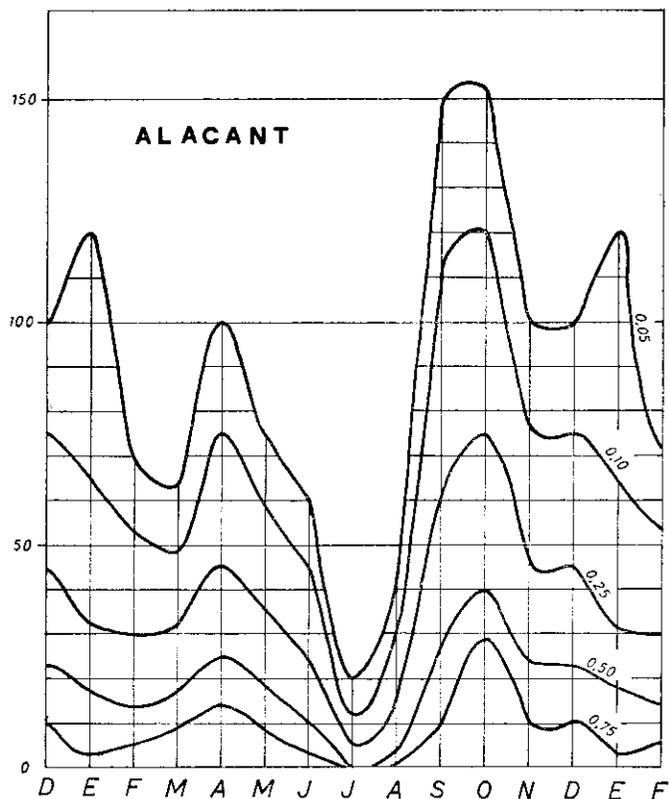
Parecen ser más asimétricas las lluvias de Alacant que las de las otras estaciones. Presentan un comportamiento muy semejante Alcoi y València a lo largo de todo el año, excepto en diciembre y agosto, que Alcoi queda muy por encima. Del mismo modo que en la desviación, la asimetría muestra un pequeño máximo en febrero en las tres estaciones. Se señala también, pues, la correlación entre sequía y fuerte asimetría. El índice de asimetría parece ir a contrapunto entre Alcoi y Alacant durante los meses de abril, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre, esto es, en los meses más lluviosos. Es destacable el pico de asimetría de Alacant en abril y octubre, mientras que la bajada de diciembre se corresponde con el pico de Alcoi.

Se da, pues, una estrecha correspondencia entre mínimos de precipitaciones y máximos de asimetría e irregularidad, si bien el caso contrario no está excesivamente claro. Al mismo tiempo se observa una fuerte relación entre máximos de lluvias y máximos de asimetría en Alacant que se corresponden con mínimos de asimetría en Alcoi. ¿Se debe a un efecto de sombra pluviométrica en Alacant? La asimetría de primavera es menor que la del otoño (la posibilidad de precipitaciones extraordinarias es mayor), si bien la irregularidad es semejante.

En Alacant, tal como aparece en el gráfico 6, la sequía del verano es muy alta, puesto que veinticinco años de cada cien no registran precipitaciones y un año de cada dos totaliza menos de 2 mm en julio y 4 en agosto, aunque, en estos mismos meses, uno de cada diez años pueden alcanzar 14 y 26 mm, respectivamente. El mínimo de finales de invierno, por su parte, es menos acusado, ya que uno de cada dos años llueve menos de 14 mm en febrero, si bien uno de cada cuatro registra menos de 6 mm. Por el contrario, en algunos años se superan los 70 mm. En enero se observa un elevado pico de las lluvias extraordinarias. El máximo pluviométrico de otoño aparece destacado, pues un año de cada dos, en octubre, alcanza los 40 mm, y cuatro de cada cinco superan los 25 mm, aunque un 10 % de años llueve menos de 8 mm. Se pueden sobrepasar los 150 mm en octubre y septiembre en años muy húmedos. Cabe reseñar la importancia de septiembre en lluvias extraordinarias. Finalmente, el máximo de primavera se encuentra menos señalado, pues un año de cada dos queda por debajo de los 25 mm, si bien el 10 % de los años totalizan más de 75 mm.

Según el gráfico 7, las precipitaciones de Alcoi son más abundantes que en Alacant (donde difícilmente se superan los 30 mm), ya que, con frecuencia, se sobrepasan los 40. Se trata de una estación de montaña cuya situación, en cierto modo, complica las cosas. Resulta evidente, en primer lugar, el mínimo estival, aunque el 5 % de los años totalizan, en julio, los 40 mm, y en agosto, los 50 mm. El mínimo de febrero (los 26 mm pueden superarse uno de cada dos años) no es tan claro en las precipitaciones extremas, puesto que dos años de cada veinte sobrepasan los 190 mm (se convierte así en el tercer máximo del año en las precipitaciones extraordinarias). Caracterizan, además, este observatorio los máximos de octubre y diciembre, separados por un descenso en

GRÁFICO NÚM. 6



Precipitaciones probables de Alacant: Las líneas señalan la probabilidad de superar los distintos umbrales de precipitación. La probabilidad de superar los 100 mm, por ejemplo, en el mes de abril es de 0'05, es decir, el 5% de los años llueve más de 100 mm. Los valores para la construcción del gráfico se han obtenido de ajustes por curvas  $\Gamma$  de las precipitaciones de cada mes.

noviembre, ya que uno de cada dos años se registran más de 49 mm en octubre y 47 en diciembre, aun cuando en tres de cada cuatro se alcanzan 21 mm en octubre y 26 en diciembre. Del mismo modo, el 10% de los años se totalizan más de 167 y 186 mm en octubre y diciembre, respectivamente. Debido a la fuerte asimetría de las precipitaciones en estos dos meses, se comprueba cómo las medianas señalan octubre como máximo principal, pero los cuartiles y las precipitaciones extremas hacen lo propio con diciembre. Abril, por su parte, se muestra como tercer máximo (máximo relativo de primavera), con 40 mm de mediana, si bien es muy moderado en precipitaciones extraordinarias, ya que nueve de cada diez años llueve menos de 100 mm. Es destacable, finalmente,

GRÁFICO NÚM. 7

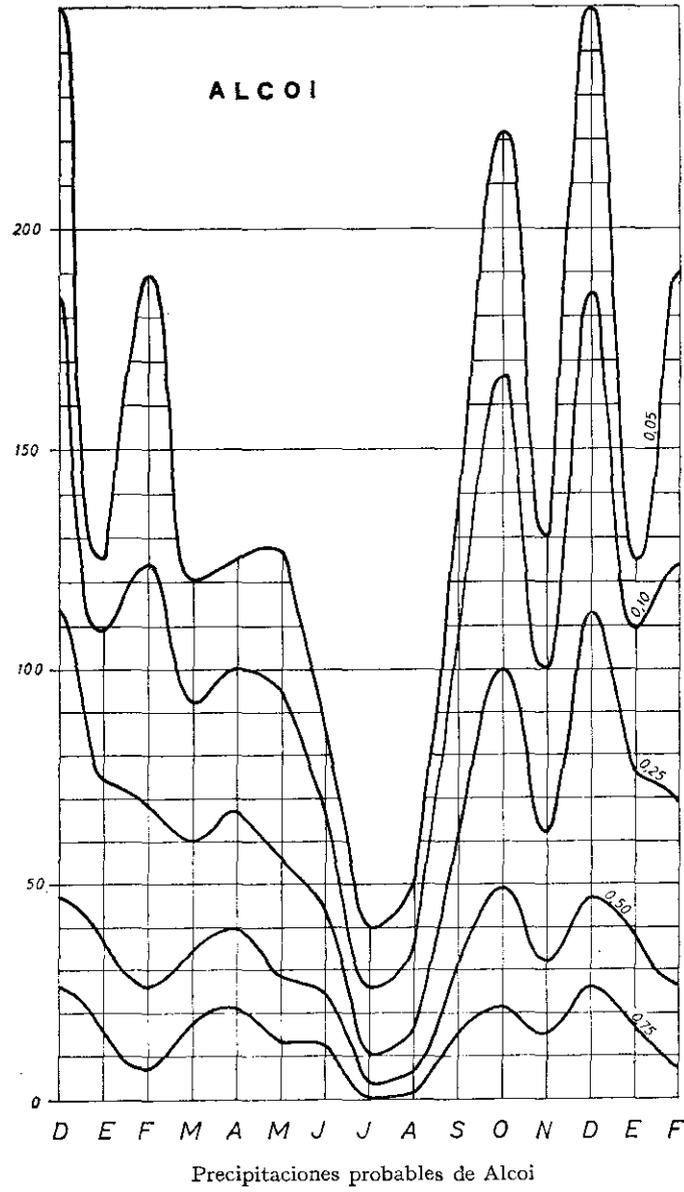
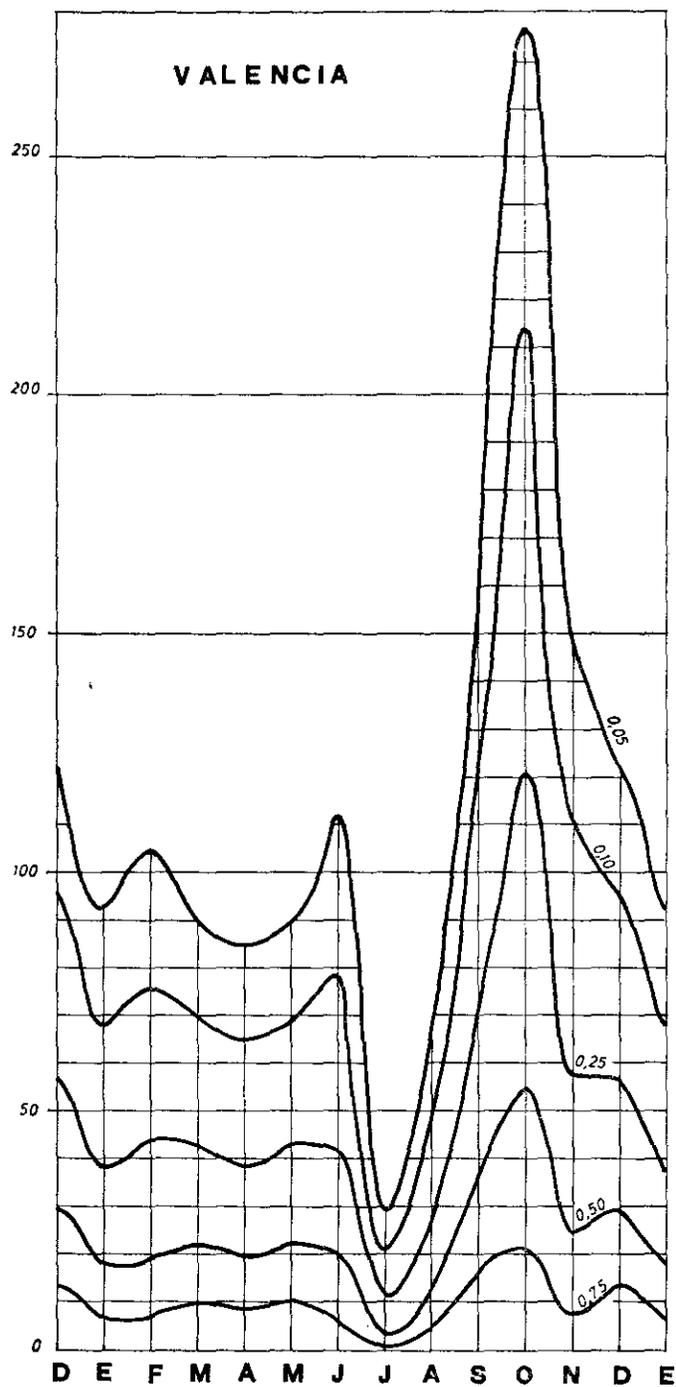


GRÁFICO NÚM. 8



Precipitaciones probables de València

en esta estación de montaña la elevada probabilidad de fuertes precipitaciones extraordinarias (más de 150 mm) durante los meses de febrero y, sobre todo, octubre y diciembre.

València, tal como aparece en el gráfico 8, presenta medianas mensuales situadas a mitad de camino entre Alacant y Alcoi. La repartición, a lo largo del año, de las precipitaciones mensuales se caracteriza por la sequía del verano y el señalado máximo de octubre, pues la mediana de este mes se sitúa en torno a los 55 mm, y si bien uno de cada diez años llueve menos de 6 mm, con la misma probabilidad se alcanzan los 215 mm, aun cuando las precipitaciones extremas pueden superar los 300 mm. La probabilidad para las precipitaciones altas comienza ya en agosto. Junio presenta, por su parte, un máximo secundario característico que, aunque no se aprecia en la mediana, resulta muy claro en las precipitaciones elevadas (uno de cada veinte años se totalizan más de 110 mm). La primavera es una estación regular (la mediana en todos los meses se sitúa alrededor de los 20 mm), pero las extremas dibujan un pico en febrero (coincide con Alcoi) y el ya comentado de junio. Las probabilidades bajas de València son semejantes a las de Alacant, pero las altas son más elevadas en el primer caso.

Al igual que se ha hecho con las medias anuales, se ha intentado analizar la variabilidad de las medias mensuales, con el fin de estimar la de las curvas ajustadas y los parámetros deducidos de ellas. Se ha efectuado, pues, un sondeo de medias móviles de treinta años y sus correspondientes desviaciones *standard*, en los meses de octubre y abril, de València, de tal modo que se han obtenido 19 curvas para cada mes. De ellas se deduce que la variabilidad de las curvas de octubre es mucho mayor que las de abril, aunque todas ellas muestran forma semejante, con mayor o menor desplazamiento en torno a una mediana. La variación intercuartílica en octubre es de 23 mm, y en abril, tan sólo de 2'2 mm, que, expresado en porcentaje, supone el 41'8 y el 12'3, respectivamente, de la mediana de la curva mediana.

Así pues, se hace necesario manejar un elevado número de años, especialmente en los meses de fuerte coeficiente de desviación, básicamente los meses de otoño y verano. Quizá puedan obtenerse aceptables resultados en los meses de primavera, con menor número de años. Las diferencias en los resultados pueden llegar a ser tan grandes como para que las medianas de unos ajustes coincidan con los cuartiles de otros.

### 3.4. Conclusiones

València, con un clima mediterráneo típico, presenta acusadas variaciones en los totales anuales que, en una cuarta parte de los años, se asemeja a los climas semiáridos, mientras que otros pueden hacer pensar en un clima mediterráneo subhúmedo. Frente a las otras dos estaciones se caracteriza por la dispersión de sus totales anuales. En cuanto a los valores mensuales, destaca ampliamente por sus valores de octubre, que, en realidad, constituyen el único

máximo notable. En cuanto a su distribución a lo largo del año presenta una primera parte con valores muy regulares, interrumpidos por la fuerte sequía estival, y una segunda mucho más lluviosa, en la que llegan a alcanzarse, con alta probabilidad, valores extraordinarios.

Singular de Alacant es la aridez (con respecto a Alcoi y València), íntimamente relacionada, no con los coeficientes de desviación, sino con la asimetría (ya se ha aludido previamente en los totales mensuales). Claramente muestra dos máximos mensuales (abril y octubre), separados por los mínimos de verano y febrero, de menor relevancia. Las probabilidades de precipitaciones extraordinarias de otoño no alcanzan valores excesivamente elevados, de tal modo que pueden compararse a las de primavera.

Alcoi, estación de montaña, señala en los totales anuales un clima mediterráneo relativamente húmedo y una dispersión de valores menor que la de las otras dos estaciones estudiadas. Su originalidad reside en la distribución mensual de las precipitaciones, ya que, al igual que Alacant, presenta dos máximos en octubre y abril separados por el mínimo estival y el secundario de febrero, pero, frente a Alacant y València, aparece el máximo de diciembre con un mínimo claro en noviembre (ya se apuntaba algo en València). No existe la polarización de precipitaciones extraordinarias en octubre como en València.

#### 4. RESUMEN

En el trabajo se presenta una aproximación metodológica al tratamiento estadístico de precipitaciones anuales y mensuales, aplicado a la irregularidad mediterránea. Frente a la media utilizada, casi como único parámetro significativo, se postula el uso de otros, ilustradores de la distribución de frecuencias de los sucesos (mediana, asimetría, kurtosis, desviación intercuartílica, etc.) y la estimación de los intervalos de confianza de los valores asociados a la medida de centralidad (mediana, cuartiles, etc.).

La curva de probabilidades, ajustada a la distribución de frecuencias de los episodios, facilita precisa información de los parámetros cuando no se dispone de datos suficientes. En las precipitaciones anuales se sugiere la curva normal o una transformada logarítmica, según la mayor o menor asimetría de la distribución de frecuencias, mientras en las mensuales se ajusta mejor una curva  $\Gamma$  incompleta. Se propone, para ambos casos, la realización del contraste de los parámetros obtenidos mediante el *test* de Kolmogorov-Smirnov.

La aplicación del método se ha efectuado a base de tres observatorios pluviométricos del País Valenciano (València, Alacant, Alcoi). Por lo que se refiere a las precipitaciones anuales, se indica la necesidad, según los diversos observatorios, de tratar un elevado número de años (entre treinta y cinco y cincuenta y cinco años), siempre sobre la base de independencia estadística de los sucesos. Se ha comprobado la probabilidad alta de alcanzar mínimos totales anuales, incluso en València, que tiene medias aceptables, a excepción de

Alcoi, por el efecto orográfico. Por otra parte, no se observa una distribución normal de las medias a causa de la tendencia de las curvas.

En cuanto a las precipitaciones mensuales, parece que en el siglo actual se ha producido el adelantamiento de un mes en la distribución de los máximos, excepto durante el verano. Se constata la enorme asimetría de las curvas y, por tanto, de las medias. Se comprueba cómo, además del interés de la mediana, se puede obtener mayor información con el análisis de los ajustes de la curva de probabilidades, ya que permite precisar la frecuencia con que pueden presentarse acontecimientos de gran significación a efectos hidrológicos, geomórficos, agrarios, etc.

Como conclusión, fenómenos aquí apuntados exigen una explicación dinámica, ya que se es consciente de que el tratamiento de los datos no soluciona los problemas, simplemente contribuye a plantearlos<sup>15</sup>.

#### APENDICE

La curva utilizada está definida por:

$$F(P) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^{P/\mu} e^{-z} z^{\lambda-1} dz \quad (1)$$

Para el cálculo de  $\Gamma(\lambda)$  puede utilizarse la siguiente tabla:

$\lambda$	$\Gamma(\lambda)$	$\lambda$	$\Gamma(\lambda)$
1'0	1'0000	1'6	0'8935
1'1	0'9514	1'7	0'9086
1'2	0'9182	1'8	0'9314
1'3	0'8975	1'9	0'9618
1'4	0'8873	2'0	1'0000
1'5	0'8862		

De la que se puede deducir cualquier valor, teniendo en cuenta la fórmula de recurrencia:

$$\Gamma(n) = \frac{\Gamma(n+1)}{n}$$

La función, de todos modos, está definida por la integral:

$$\Gamma(\lambda) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\lambda-1} dx$$

<sup>15</sup> GEORGE, P., «Difficultés et incertitudes de la géographie», *Annales de Géographie*, n.º 467 (1976), pp. 48-63.

El cálculo de la integral incompleta (1) lo hemos solucionado por un desarrollo en serie, teniendo en cuenta que:

$$e^{-z} = 1 - z + \frac{z^2}{2!} - \frac{z^3}{3!} + \frac{z^4}{4!} \dots$$

Sustituyendo, realizando operaciones e integrando:

$$F(P) = \left[ \frac{z^\lambda}{\Gamma(\lambda)} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{z}{\lambda+1} + \frac{z^2}{(\lambda+2)2!} - \frac{z^3}{(\lambda+3)3!} \dots \right) \right]^{P/\mu}$$

Ya que solamente es necesario calcular  $F(P/\mu)$ , pues  $F(0) = 0$ . El término general de la serie es:

$$a_n = \frac{z^n}{(\lambda+n)n!}$$

Y tiende a 0 cuando  $n$  tiende a  $\infty$ ; por tanto, la serie es convergente y es posible calcular su suma. Como además es alterna, si se toma la suma de los  $2M$  primeros miembros, el residuo que se desprecia, error cometido, es inferior al siguiente término, con lo que se puede obtener un grado de aproximación conveniente calculando un número reducido de miembros y se controla el error cometido.

De modo más general, la función de distribución  $\Gamma$  está definida por <sup>16</sup>:

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^\infty \left( \frac{x}{u} \right)^{\lambda-1} e^{-(x/u)} d \left( \frac{x}{u} \right)$$

Cuya función generatriz es:

$$\varphi_\Gamma(t) = (1 - \mu t)^{-\lambda}$$

y de aquí la media y desviación típica:

$$m_1 = \lambda \mu \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \lambda \mu^2 \quad (3)$$

La media y la varianza pueden estimarse con los valores de la muestra; los parámetros  $\lambda$  y  $\mu$  pueden ser obtenidos en función de aquéllas a partir de (2) y (3):

$$\mu = \frac{\bar{x}}{\lambda} \quad ; \quad \lambda = \frac{m_1^2}{S^2}$$

donde  $m_1$  es la media muestral y  $S^2$  la varianza.

Este ajuste no da buenos resultados cuando el valor 0 tiene una probabilidad superior al 5%. En este caso puede utilizarse un traslado de origen. La probabilidad de 0 se estima por la frecuencia de este valor (sea, por ejemplo,  $p$ ); la probabilidad de que se produzca alguna precipitación será  $1 - p$ . Puede, por tanto, ajustarse la curva a los meses con lluvia y luego trasladar el origen con el siguiente artificio:

$$F(P) = p + (1-p) \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^{P/\mu} e^{-z} z^{\lambda-1} dz$$

<sup>16</sup> De aquí se pasa a (1) mediante un cambio de variables:  $(x/\mu) = Z$ .

## BIBLIOGRAFIA

- ALBENTOSA SÁNCHEZ, L. M., «Los climas de Cataluña. Estudio de climatología dinámica», *Ediciones de la Universidad de Barcelona*, Barcelona, 1975, 32 pp.
- ARLERY, R., *et al.*, *Climatologie. Méthodes et pratiques*, París, Gauthier-Villars, 1973, 434 pp.
- BURRIEL DE ORUETA, E., *La huerta de Valencia. Zona sur. Estudio de geografía agraria*, Valencia, Diputación Provincial de Valencia, 624 pp.
- CRAMER, H., *Teoría de probabilidades y sus aplicaciones*, Madrid, Ed. Aguilar, S. A., 1969, 321 pp.
- ELÍAS CASTILLO, F., *Precipitaciones máximas en España. Régimen de intensidades y frecuencias*, Madrid, Ministerio de Agricultura, 1963, 267 pp.
- GARCÍA MIRALLES, V., y CARRASCO ANDREU, A., *Lluvias de intensidad y extensión extraordinarias causantes de las inundaciones de los días 13 y 14 de octubre de 1957 en las provincias de Valencia, Castellón y Alicante*, Madrid, Servicio Meteorológico Nacional, 1958, 67 pp.
- GONZÁLEZ QUIJANO, P. M., *Mapa pluviométrico de España*, Madrid, C. S. I. C., 1946, 574 pp.
- GROUPE CHADULE, *Initiation aux méthodes statistiques en géographie*, París, Masson et Cie., 1974, 191 pp.
- KUNOW, P., *El clima de Valencia y Baleares*, Valencia, Instituto de Geografía, 1966, 239 pp.
- LAMBERT, R., *Recherches hydrologiques dans le Sud-Est du Bassin Garonnais*, Toulouse, Université Toulouse-Le Mirail, 1975, 2 vols., 750 pp.
- LEJEUNE, C., *et al.*, «Les précipitations anormales de fevrier à avril 1970 dans le Nord des Alpes françaises», *Revue de Géographie de Lyon*, t. 45 (1970), pp. 215-242.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., «La Región Valenciana», ap. *Geografía general de España y Portugal*, dirigida por Manuel de Terán, t. IV, 2.º, Barcelona, Montaner y Simón, 1966, pp. 279-440.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., «Les condicions físiques», ap. *L'estructura econòmica del País Valencià*, dirigida per Ernest Lluch, València, L'Estel, 1970, cfr. pp. 39-65.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., «El clima», en *Geografía de la provincia de Alicante*, dirigida por Vicente María Rosselló Verger (en prensa).
- NEUMANN, H., «El clima del sudeste de España», *Estudios Geográficos*, t. XXI (1960), pp. 171-209.
- OWEN, D. B., «Distribuciones continuas especiales», en *Enciclopedia internacional de las ciencias sociales*, Madrid, Aguilar, S. A., 1974, vol. 3, pp. 760-766.
- PARZEN, E., *Teoría moderna de probabilidades y sus aplicaciones*, Méjico, Limusa, S. A., 1973, 509 pp.
- PÉDÉLABORDE, P., *Le climat du Bassin Parisien*, París, Libr. de Médecis, 1957, 2 vols., 539 pp. + 116 pl.
- ROSSELLÓ VERGER, V. M., *El litoral valencià*, València, L'Estel, 1969, 2 vols.
- SAINTIGNON, M. F., *et al.*, «Les pluies d'août et septembre 1968 dans les Alpes françaises», *Revue de Géographie Alpine*, LVII (1969), pp. 335-360.
- SAINTIGNON, M. F., «La sécheresse d'octobre 1969 dans les Alpes françaises», *Revue de Géographie Alpine*, LVIII (1970), pp. 367-377.
- SPIEGEL, M. R., *Teoría y problemas de cálculo superior*, Méjico, McGraw Hill, 1970, 381 pp.
- TORANZOS, F. I., *Teoría estadística y aplicaciones*, Buenos Aires, Kapelusz, 1971, 448 pp.
- ZOZISLAW STAPEL, «Ascertainment of the probability of precipitation occurrence on the basis of Gamma distribution», *Przegląd Geofizyczny*, núms. 3-4 (1974), pp. 205-214.

