

ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN EN EL AÑO HIDROLÓGICO A PARTIR DE UN ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN Y EL DESFASE

José Antonio LÓPEZ DÍAZ
Jefe de Sección de Técnicas Climatológicas, INM

RESUMEN.

Se introducen las definiciones de un índice normalizado de concentración de precipitación y de desfase para los totales mensuales de un año. Se estudian la media y la dispersión de estos índices para 14 estaciones distribuidas por todo el territorio español, delimitándose unas regiones. Por último se investigan las posibles tendencias.

Palabras clave: Concentración, desfase, tendencia.

ABSTRACT

The definitions for a normalized concentration index and the phase lag of the monthly rainfall totals for a year are introduced. The mean and scatter of these indices applied to 14 stations spread over the Spanish soil are studied, and some regions are delimited. Finally the possible tendencies are investigated.

Key words: Concentration, phase, tendency.

1. DEFINICIONES DEL DESFASE Y DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN

El índice de concentración de la precipitación caída a lo largo de un año determinado es una medida del grado de concentración de la misma alrededor de un punto temporal del año. Consideremos a los totales mensuales a lo largo del año hidrológico SEP-AGO como una función escalonada (repartiendo el total mensual de forma uniforme a lo largo del mes) y periódica (con periodo 1 año), a fin de evitar la arbitrariedad en la elección del mes principio y fin del año hidrológico (ESSENWANGER, 1985). Entonces se puede definir un índice de la concentración en el sentido anterior de la siguiente forma: primero buscamos el punto del año que minimiza la integral, medida de la dispersión,

$$I_{abs}(t) = \int_{t-P}^{t+P} f(u) |t-u| du$$

donde $f(u)$ es la precipitación en el día u y P es el semiperiodo 6 meses. Cuanto mayor es $I_{abs}(t)$ mayor es la dispersión de la precipitación alrededor del día t . El día para el cual esa integral es mínima nos da el desfase ϕ (medido en meses desde el principio del año hidrológico, 1 de SEP en este trabajo). El valor mínimo de la integral es la base para definir el índice de concentración. Cuanto

mayor sea éste, menor será el índice de concentración y viceversa. El índice de concentración se obtiene finalmente normalizando ese valor mínimo, de tal forma que 0 corresponde a un año de precipitación distribuida de forma completamente uniforme a lo largo de todo el año, y 100 corresponde al caso de toda la precipitación caída en un sólo mes. En LÓPEZ DÍAZ (en prensa) se da una descripción más detallada.

2. COMPORTAMIENTO DEL DESFASE Y DE LA CONCENTRACIÓN

En el cuadro I se incluyen los valores medios y las desviaciones estándar para el desfase y el índice de concentración para las estaciones analizadas en el periodo de observaciones comunes 1881-1998.

ESTACIÓN (1881-1998)	DESFASE (meses)				CONCENTRACIÓN (%)	
	MEDIA		DESV. EST.		MEDIA	DESV. EST.
Alicante	4,2	DIC	2,3	67%	31,8	13,8
Badajoz	4,9	ENE	1,4	41%	32,1	12,7
Barcelona	1,8	OCT	2,9	85%	20,9	10,7
Burgos	5,8	FEB	2,7	79%	19,0	9,2
Huesca	10,1	JUN	3,3	96%	19,5	9,2
La Coruña	4,5	DIC/ENE	1,2	33%	25,1	9,9
Madrid	5,0	ENE	2,2	65%	23,6	10,7
Mahón	3,7	NOV/DIC	1,3	38%	32,7	11,3
Murcia	4,7	DIC/ENE	2,4	70%	31,0	13,8
Palma de M.	3,6	NOV/DIC	1,7	49%	28,4	11,9
San Fernando	4,6	DIC/ENE	1,1	31%	42,6	11,7
San Sebastián	3,8	DIC	2,1	61%	15,9	7,1
Tortosa	1,7	SEP/OCT	3,0	86%	27,1	12,6
Valencia	3,6	NOV/DIC	2,3	68%	31,0	14,8

Cuadro I. Desfases y concentraciones

El cálculo para el desfase de estos estadísticos requiere especial consideración. Puesto que el desfase es una variable periódica el valor medio aritmético no está definido de manera unívoca: dependiendo de donde se sitúe el corte-origen a lo largo de la circunferencia (si consideramos los desfases representados en el círculo) se obtiene un valor diferente. Se puede probar que si hay n desfases distintos, hay n medias aritméticas distintas. Tomaremos por tanto aquella que minimiza la suma de las distancias angulares al cuadrado respecto a ella. Las distancias angulares entre dos desfases son los arcos de longitud mínima entre ellos; estos varían en el círculo unidad entre 0 y π radianes. La desviación estándar se refiere entonces a esa media aritmética.

2.1 Análisis de los desfases

En la columna de los valores medios de los desfases se ha representado el valor numérico en meses, que puede variar entre $0,5$ correspondiente al inicio de SEP y $12,5$ correspondiente al final de AGO, de tal manera que los valores enteros de 1 a 12 corresponden a los puntos medios de cada mes de SEP a AGO. También se ha incluido el mes aproximado, de manera que cuando aparece sólo un mes se refiere al punto medio del mes, y si aparecen dos meses sucesivos al punto medio entre ellos (es decir, fin del primero y comienzo del segundo). En la columna de la desviación estándar se da en primer lugar el valor en meses, y a continuación el valor en porcentaje respecto a la desviación estándar que tiene una distribución de desfases uniforme en el año ($12/\sqrt{12} = 3,46$ meses).

En las estaciones de la vertiente atlántica (Fig. 1) los desfases medios se sitúan en invierno, DIC-FEB. Las desviaciones estándar varían apreciablemente en esta vertiente creciendo apreciablemente en dirección SW-NE, desde $1,1$ meses en San Fernando o $1,2$ en La Coruña, que son los valores más bajos de todas las estaciones analizadas, hasta $2,7$ meses en Burgos, que supone casi un 80% respecto a la distribución uniforme.

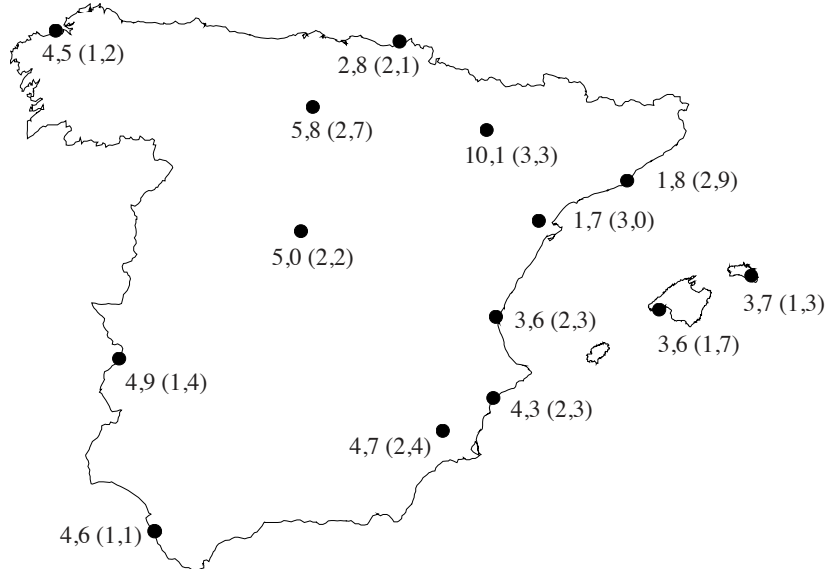


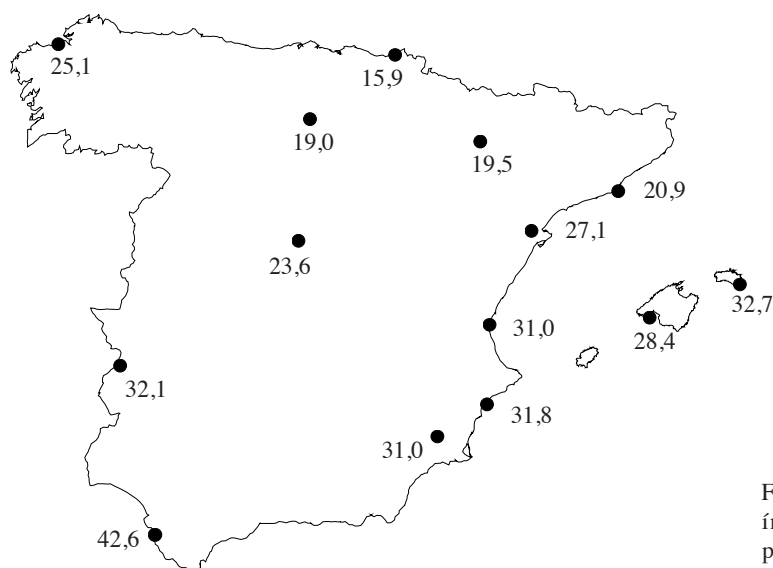
Figura 1. Valores medios del desfase y su desviación estándar (en paréntesis), 1881-1998

En la vertiente mediterránea podemos distinguir cuatro zonas:

- 1) En las estaciones catalanas Barcelona y Tortosa, el desfase medio es en otoño, con un valor de 1,75, esto es, centrado en la primera mitad de OCT. Los valores de la dispersión del desfase son los más altos de todos (con la excepción de Huesca), alrededor de 3 meses, o un 85% respecto a la distribución uniforme. Podemos por tanto esperar años particulares con prácticamente cualquier desfase.
- 2) En la cuenca del Ebro, representada por Huesca, la dispersión del desfase es máxima, un 96% respecto a la uniforme, o sea, la distribución de los desfases es a efectos prácticos aleatoria en el año. Por ello el valor medio tiene muy poca significación y desentona del resto.
- 3) A medida que nos movemos hacia el S por la costa mediterránea, pasando por Valencia, Alicante y Murcia, se observa un retraso paulatino de los desfases desde los 3,6 de Valencia, todavía en otoño, hasta los 4,7 de Murcia, ya en el comienzo del invierno. Las dispersiones son menores que en Cataluña, del orden de 2,3 meses.
- 4) En las Baleares encontramos desfases medios similares a los de Valencia, correspondientes a finales del otoño, pero llama la atención que las dispersiones son mucho menores que en el Levante; Mahón con 1,3 meses da un valor muy próximo al mínimo de San Fernando.

2.2 Análisis de los índices de concentración

Los valores medios del índice de concentración de la precipitación a lo largo de un año hidrológico muestran una pauta relativamente simple (Fig. 2): trazando un eje en dirección SW-NE, desde San Fernando hasta San Sebastián el valor medio disminuye de forma gradual, en ambas vertientes atlántica y mediterránea (incluyendo a las Baleares). En San Fernando se alcanza el valor máximo,



43%, y en San Sebastián el mínimo, 16%. No aparece aquí la singularidad vista al estudiar los desfases en Huesca ni en las Baleares, aunque quizá Mahón da un valor que desentona algo por arriba.

Figura 2. Valores medios del índice de concentración, periodo 1881-1998

Por otra parte este comportamiento es similar al de la dispersión de los desfases, aunque más regular. Esto se comprueba con el valor del coeficiente de correlación entre la desviación estándar de los desfases y el valor medio del índice de concentración, que es -0.59, significativo al 5% (p-valor para el test bilateral = 0,026). Esta relación es por otra parte explicable, dado que si en una estación la precipitación a lo largo del año tiende a estar poco concentrada en un punto (índice de concentración bajo), el desfase medio podrá variar bastante de un año a otro con modificaciones relativamente pequeñas de la precipitación en algún mes o meses, o sea, tenderá a mostrar dispersiones altas del desfase entre años.

Las desviaciones típicas del índice de concentración (no representadas en la Fig. 2) son máximas en la costa mediterránea (el máximo en Valencia, 15%), disminuyendo luego tanto hacia el E como al W.

3. ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS

ESTACIÓN	INICIO	DESFASE		CONCENTRACIÓN	
		1881-1998	INICIO-1998	1881-1998	INICIO-1998
Alicante	1857	0,04	0,38	0,21	0,87
Badajoz	1877	-0,38	-0,10	0,50	0,59
Barcelona	1851	-0,42	0,66	0,78	0,09
Burgos	1863	-0,74	-0,78	-0,20	-0,11
Huesca	1866	0,42	0,16	0,19	0,76
La Coruña	1878	-0,12	-0,28	0,62	0,66
Madrid	1860	-0,57	-0,12	0,91	0,98
Mahón	1866	0,62	0,75	0,89	0,82
Murcia	1866	0,49	0,49	0,32	0,46
Palma de M.	1866	-0,06	0,39	0,30	0,11
San Fernando	1840	-0,35	-0,08	0,96	0,99
San Sebastián	1879	0,93	0,94	0,69	0,61
Tortosa	1881	-0,21	-0,21	0,75	0,75
Valencia	1865	0,12	0,31	0,79	0,72

Cuadro II. Tendencias del desfase y concentración

Se ha aplicado el test de Mann-Kendall (SNEYERS, 1966) a las series de desfases y valores del índice de concentración de las 14 estaciones estudiadas para el periodo común 1881-1998 y para el periodo total de observaciones. En el cuadro II se han representado los resultados de dicho test aplicado en forma bilateral, dándose los valores de 1-p, de tal modo que valores absolutos crecientes corresponden a tendencias más acentuadas (así que por ejemplo valores absolutos superiores o iguales a 0,95 son significativos con $\alpha = 5\%$). Además el signo positivo indica tendencia creciente de la variable y el negativo decreciente. Para los desfases valen los comentarios hechos arriba sobre el problema de seleccionar un origen, ya que dependiendo de éste la tendencia cambia en general.

Se ha seleccionado el origen de tal manera que la media aritmética respecto a él da el punto de distancia angular cuadrática media mínima. Este origen se sitúa en el punto simétrico respecto al centro del círculo del punto medio de los desfases (en el sentido de distancia cuadrática media mínima como antes). De esta forma el corte-origen está situado en una zona relativamente despoblada de desfases.

En cuanto a los desfases no parecen observarse tendencias claras, salvo quizá en el caso de San Sebastián, que da tendencia creciente con un p-valor del 7%. El signo de la tendencia indica que la precipitación tiende a caer más tarde en el año hidrológico en esta estación. Sin embargo en estaciones como Burgos o Huesca relativamente próximas no se observa nada parecido. El alto valor de la dispersión de los desfases en San Sebastián (2,1 meses) también pone en entredicho este resultado.

No ocurre lo mismo con el índice de concentración, que sí muestra una tendencia creciente significativa al 1% en San Fernando para la serie completa (1840-1998). Asimismo en Madrid se observa una tendencia también creciente significativa al 5% para la serie completa (1860-1998).

En la figura 3 se ha representado la serie de valores anuales del índice de concentración de San Fernando, junto con el valor suavizado usando un filtro pasa-baja. Se puede apreciar a simple vista la tendencia creciente de la misma.

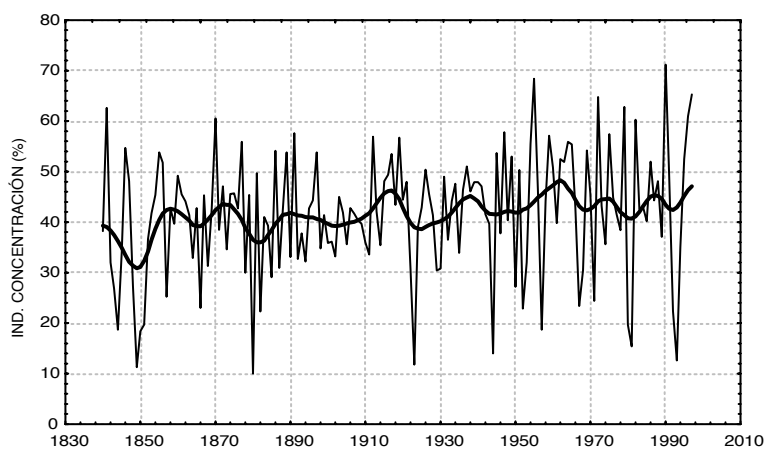


Figura 3. San Fernando: Índice de concentración y suavizado (1840-1997)

Análogamente la figura 4 contiene la serie anual del índice de concentración de Madrid. Llama la atención los valores altos de finales de los años 60 y principios de los 70 de este siglo, que alteran la pauta general creciente uniforme de la serie.

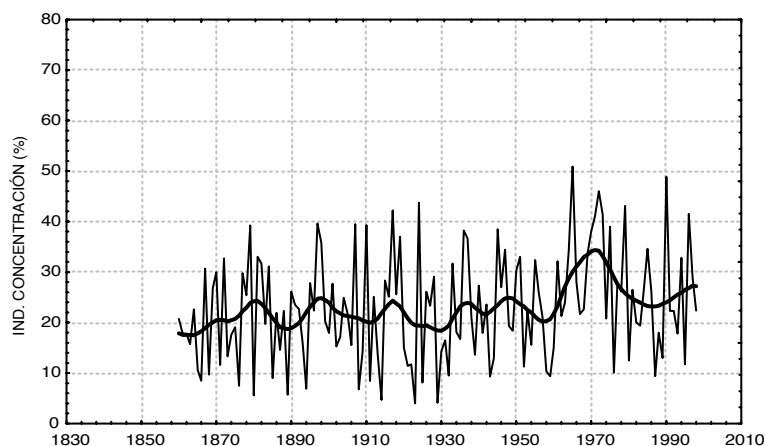


Figura 4. Madrid: Índice de concentración (1860-1997)

BIBLIOGRAFÍA

ALMARZA, C., LOPEZ, J.A. y FLORES, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de Precipitación en España*, Publicación A-143 del INM.

ESSENWANGER, O.M. (1976): *Applied Statistics in Atmospheric Science. Part A, Frequencies and Curve Fitting*, Elsevier Scientific Publishing Company.

ESSENWANGER, O.M. (1985): *General Climatology, 1B. Elements of Statistical Analysis*, Elsevier.

LÓPEZ DÍAZ, J. A. (1998, en prensa): «Patrones de evolución temporal de la variabilidad intraanual de la precipitación en España a partir del análisis de algunas series largas», Asamblea hispano-portuguesa de Geodesia y Geofísica, Feb, 1998.

SNEYERS, R. (1966): *Sur l'analyse statistique des series d'observations*, Publicación 199 de OMM.

AGRACEDIMIENTOS

Esta comunicación ha sido realizada dentro del Proyecto de Investigación «Variabilidad Espacio-Temporal de la Precipitación y Temperatura de la España Peninsular», ref. CLI 97-0341-C03-01, financiado por la comisión Ministerial de Ciencia y Tecnología.

