

## TELECONEXIONES CLIMÁTICAS Y PRECIPITACIÓN EN LA ESPAÑA MEDITERRÁNEA

José Antonio GUIJARRO PASTOR  
*I.N.M. (Centro Meteorológico en Illes Balears)*

### RESUMEN

Se han estudiado las relaciones entre los valores trimestrales móviles de promedios de precipitación de distintas áreas mediterráneas españolas con once índices de teleconexiones climáticas. Gran número de las ecuaciones de regresión múltiple obtenidas presentan coeficientes de determinación múltiple significativos. Sin embargo, el conjunto de variables seleccionadas en cada ecuación parece estar sujeto a un alto grado de aleatoriedad, que se manifiesta en el escaso valor predictivo de las ecuaciones obtenidas cuando se contrastan con un conjunto independiente de datos.

**Palabras clave:** Teleconexiones, El Niño, ENSO, NAO, precipitación

### ABSTRACT

The relationships between three month running averages of precipitation for several Spanish mediterranean areas, with eleven indexes climatic teleconnections, have been studied. A great number of the obtained multiple regression equations exhibit significant multiple determination coefficients. Nevertheless, the sets of selected variables in each equation seem to be affected by a high degree of randomness, put in evidence by the scarce predictive value of the obtained equations when tested against an independent data set.

**Key words:** Teleconnections, El Niño, ENSO, NAO, Precipitation

### 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las teleconexiones climáticas tiene un gran interés por sus aplicaciones en el campo de la predicción estacional, sobre todo de la pluviometría, que permitiría una mejora en la gestión de los recursos hídricos y la planificación de cultivos, en un país como el nuestro, sometido a caprichosas alternancias de años de lluvias relativamente abundantes con otros de acusada sequía.

Diversos autores han encontrado relaciones estadísticas entre el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO en su acrónimo inglés) y anomalías de precipitación en diversas partes del mundo, tanto en zonas vecinas al océano Pacífico (RASMUSSEN, 1983), como en otras más alejadas (ROPELEWSKI, 1987). En el ámbito mediterráneo se han hallado conexiones desde Israel (PRICE, 1998) hasta la Península Ibérica (RODÓ, 1997).

No obstante, la existencia de estas relaciones es un tema sujeto a discusión. Así, mientras que LAITA (1995) no encuentra evidencia de la conexión entre las series cronológicas de El Niño y las configuraciones de presión en el Mediterráneo occidental, y LINÉS *et al.* (1992) tampoco la encuentran con la precipitación (aunque sí con la variabilidad de la misma), RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.* (1998) hallan una fuerte evidencia de la influencia del ENSO en las precipitaciones del Mediterráneo (sobre todo en primavera).

Para añadir más complejidad, estas relaciones no son constantes en el tiempo, de forma que tanto PRICE *et al.* (*op. cit.*) en Israel como ROCHA (1998) en la Península Ibérica, al estudiar las correlaciones en ventanas móviles de 20 años, observan que los periodos en que los índices de correlación no son significativos tienen una duración mayor que aquellos en que sí lo son, entre los que, curiosamente, se incluyen los últimos 20 o 30 años.

En un estudio de frecuencias de lluvias fuertes en las regiones mediterráneas españolas (GUIJARRO, 1997), se encontró una correlación significativa entre la serie anual del número total (en toda la zona estudiada) de días con precipitación superior a 60 mm y el índice de la Oscilación del Sur del año anterior, si bien la escasa proporción de varianza explicada invalidaba dicho índice como predictor estadístico útil. Además, con el índice de la Oscilación del Atlántico Norte la correlación no resultó significativa.

En este trabajo se pretende profundizar en el estudio de esas relaciones, no con las frecuencias de lluvias fuertes, sino con los totales mensuales de precipitación, de mayor utilidad para la planificación de los recursos hídricos.

## 2. DATOS DE PARTIDA

### 2.1. Datos de precipitación

Como primer paso del proyecto PRECLIME (CYCIT CLI95-1846) se recopilaban los datos diarios de precipitación de las 2842 estaciones pluviométricas de la red del Instituto Nacional de Meteorología que, perteneciendo a las Comunidades Autónomas con litoral mediterráneo, disponían de un mínimo de 1000 datos durante el periodo 1951-95. Después se buscó un subconjunto con un periodo lo más largo posible y una máxima disponibilidad de datos,

lo que llevó a seleccionar 410 estaciones (Fig. 1), que contaban con un 90% de datos durante el treintenio 1964-93. Estas series se depuraron y completaron mediante un método iterativo de interpolaciones espaciales en el que se utilizó todo el conjunto inicial de datos. (Para más detalles, véase ROMERO *et al.*, 1998).

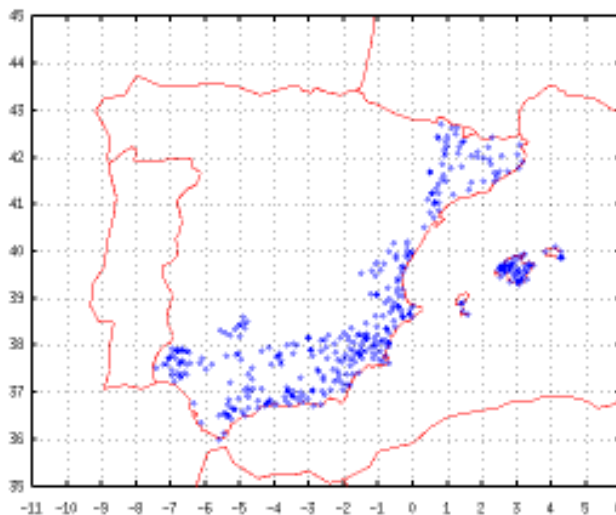


Figura 1. Estaciones pluviométricas de la base de datos utilizada.

En este trabajo se generaron, a partir de esos datos diarios, totales mensuales de precipitación para las 410 estaciones pluviométricas, durante el treintenio indicado. Treinta términos pueden ser pocos para un estudio de series temporales, pero en este caso, como se ha comentado anteriormente, se tiene la ventaja de que en las últimas décadas es cuando parece ser más significativa la relación entre el ENSO y la precipitación en nuestra zona de aplicación.

Pero la precipitación es un elemento climatológico que presenta una enorme variabilidad, tanto en el tiempo como en el espacio. Por eso se ha creído conveniente filtrar los datos mensuales para eliminar el ruido espacio-temporal.

La suavización en el ámbito espacial se ha llevado a cabo trabajando, no con los valores de las estaciones pluviométricas individuales, sino con valores de precipitación a nivel provincial. Para ello se han elegido las provincias que contaban con un mínimo de 25 estaciones pluviométricas, cuyos datos se han promediado mes a mes. En el caso de Baleares, dada la elevada densidad de estaciones de Mallorca, la unidad geográfica elegida ha sido la de esta isla, en lugar de la provincia completa. De este modo, las áreas geográficas para las que se han calculado valores pluviométricos promediados han sido:

Área	Nº de estaciones
Huelva	29
Málaga	26
Granada	25
Murcia	55
Alicante	28
Valencia	31
Mallorca	53
Lérida	28

En cuanto a la variabilidad temporal, muchos autores la soslayan trabajando con datos estacionales. Ese es el método que se seguirá aquí, pero pueden surgir dudas sobre cuál puede ser la distribución óptima de los meses: tradicionalmente se suele asignar diciembre, enero y febrero al invierno, y así sucesivamente, pero podría ser que las precipitaciones mejor relacionadas con el ENSO o algún otro índice fueran las de febrero, marzo y abril (por ejemplo). Para evitar una asignación apriorística potencialmente desfavorable vamos a trabajar con medias trimestrales móviles, cuyos valores asignaremos al mes central de cada trimestre.

## 2.2. Índices de teleconexiones climáticas

La circulación atmosférica también presenta una incesante variabilidad, en todas las escalas temporales, desde horas (fenómenos meso-escalares, como tormentas o pasos de frentes) y días o pocas semanas (configuraciones de bloqueo), hasta meses o incluso años (anomalías climáticas). Al estudiar las variaciones de baja frecuencia en la circulación atmosférica global se han detectado modos de circulación (*teleconnection patterns* en la literatura anglosajona) identificables como

persistentes anomalías de presión que se extienden sobre grandes áreas geográficas, y que tienden a reproducirse en diferentes intervalos temporales. Entre los más conocidos tenemos a los anteriormente citados de la Oscilación del Sur (SO) y Oscilación del Atlántico Norte (NAO), pero se han identificado otros muchos en diferentes partes del mundo (BARNSTON y LIVEZEY, 1987).

El índice de la Oscilación del Sur, medido como anomalías de las diferencias de presión estandarizadas entre Tahití y Darwin, está íntimamente ligado a las anomalías de la temperatura superficial del agua del mar en la zona oriental del océano Pacífico tropical (fenómeno de El Niño), puesto que el debilitamiento de los vientos alisios inhibe el afloramiento de aguas frías. Las calientes aguas oceánicas superficiales actúan entonces como una importante fuente de calor y humedad capaz de favorecer el desarrollo de fenómenos convectivos productores de fuertes vientos y abundantes precipitaciones. Y algo similar puede suceder con las anomalías termométricas de otras áreas oceánicas, por lo que conviene tenerlas en cuenta como variables potencialmente útiles para el estudio de anomalías climáticas.

En este trabajo se han elegido once índices con posible relación con las precipitaciones de la zona estudiada. Tres corresponden a temperaturas medias del agua del mar, y los otros ocho son modos de circulación atmosférica. A continuación se presenta una relación de los mismos, junto con los meses de aplicabilidad (puesto que algunos de ellos sólo se manifiestan en determinadas épocas del año):

Índice	Zona de aplicación	Meses
SSTna	Temp. superficial del Atlántico Norte	12
SSTsa	Id. del Atlántico Sur	12
SSTgt	Id. de la zona tropical global	12
SO	Oscilación del Sur	12
NAO	Oscilación del Atlántico Norte	12
EA	Atlántico Oriental	8(1-4,9-12)
EAWR	Atlántico Oriental / Rusia Occidental	9(1-5,9-12)
SCA	Escandinavia	10(1-5,8-12)
TNH	Tropical / Hemisferio Norte	3(1,11-12)
POL	Polar / Eurasia	3(1-2,12)
SZ	Subtropical zonal	2(8-9)

Los valores estandarizados mensuales de todos estos índices se han obtenido del NCEP Climate Prediction Center (NOAA).

### 3. METODOLOGÍA

La metodología elegida para los análisis exploratorios ha sido la del análisis de regresión múltiple paso a paso. El primer bloque de análisis se realizó con los datos de precipitación de la isla de Mallorca, de modo que en el primer análisis se relacionó la serie insular de enero de precipitaciones

trimestrales móviles con los valores mensuales del índice SSTna (temperatura superficial del Atlántico Norte) de ese mismo mes y de los 12 meses anteriores. El método de análisis comienza relacionando la variable dependiente con las 13 variables independientes simultáneamente. Después se elimina la variable que presenta un menor coeficiente de correlación parcial con la variable dependiente, y se repite el análisis. El proceso se da por concluído cuando todos los coeficientes de correlación parcial resultan significativos a un nivel de 0,05.

	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	R2aj	ET(%)	ET(mm)
<b>SSTgt</b>	1		+	-											0,191	90	23,5
	2														0,000	100	22,3
	3													-	0,189	90	19,4
	4							+			-				0,107	94	16,1
	5														0,000	100	18,4
	6														0,000	100	11,9
	7	-	+	-						+		-	+		0,624	61	7,0
	8							+							0,206	89	15,7
	9			+	-		+								0,444	75	16,6
	10														0,215	89	22,2
	11							+	-						0,304	83	19,3
	12														0,000	100	28,2
<b>SO</b>	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	R2aj	ET(%)	ET(mm)
	1														0,000	100	26,1
	2														0,000	100	22,3
	3													+	0,218	88	19,1
	4														0,000	100	17,0
	5														0,000	100	18,4
	6					-	+								0,142	93	11,0
	7														0,000	100	11,4
	8				+		-				-	+		-	0,358	80	14,1
	9			+		-	-	+				+		-	0,503	71	15,7
	10						+				+				0,360	80	20,0
	11							+							0,193	90	20,8
12	-					+					-	+		0,337	81	23,0	
<b>NAO</b>	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	R2aj	ET(%)	ET(mm)
	1														0,000	100	26,1
	2														0,000	100	22,3
	3														0,000	100	21,6
	4					-	+				+			-	0,347	81	13,8
	5									+			-		0,240	87	16,1
	6			+									-	+	0,298	84	10,0
	7														0,000	100	11,4
	8														0,000	100	17,6
	9														0,111	94	21,1
	10														0,280	85	21,3
	11						+							+	0,334	82	18,9
12												+		0,153	92	26,0	

Esta metodología se repitió para las 12 series de precipitaciones trimestrales móviles, para los 11 índices climáticos, y para las 8 áreas geográficas, totalizando así, en una primera fase, 1056 análisis de regresión múltiple paso a paso. Posteriormente se realizaron otros análisis complementarios, haciendo intervenir varios índices climáticos simultáneamente, pero con menor número de desfases temporales, para no disminuir demasiado el número de grados de libertad.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada área geográfica e índice climático ensayado se confeccionaron tablas resumen de los resultados de los análisis de regresión, en los que, para cada mes, aparecen señalados los signos (positivo o negativo) de los coeficientes de regresión significativos al nivel de 0,05, así como el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2_{aj}$ , ajustado para tener en cuenta el número de grados de libertad) y los errores típicos (ET) relativo (en %) y absoluto (en mm) de la estimación. (En los casos en que no se ha encontrado ninguna asociación significativa, los errores típicos reseñados son los que corresponden al estimar cada valor de la variable dependiente por su valor medio).

Por motivos de espacio presentamos aquí únicamente los de Mallorca (ver tabla, página anterior), para los índices de SSTgt, SO y NAO. (Las variables 1 a 13 corresponden a los desfases de -12 a 0 meses respectivamente).

Como puede observarse, se han obtenido relaciones significativas para muchas de las precipitaciones trimestrales móviles, y algunas con coeficientes de determinación relativamente elevados (0,50 y 0,62). Pero las variables dependientes seleccionadas en cada caso presentan un aspecto muy poco coherente, con desfases temporales distribuidos de forma aparentemente aleatoria, sin relación de unos meses con otros.

Este hecho se ha repetido en el resto de los análisis efectuados. Como resumen global de los mismos, en la siguiente tabla aparecen los máximos valores de los coeficientes de determinación múltiple encontrados para cada índice y cada área geográfica, precedidos por el mes en que se han

Índice	Huelva	Málaga	Granada	Murcia	Alicante	Valencia	Mallorca	Lérida
SSTna	12 0,52	1 0,50	2 0,56	5 0,65	5 0,43	12 0,50	10 0,25	4 0,59
SSTsa	9 0,48	12 0,44	8 0,57	10 0,32	10 0,44	3 0,58	10 0,36	4 0,33
SSTgt	2 0,61	6 0,73	11 0,55	6 0,48	11 0,52	10 0,43	7 0,62	9 0,57
SO	9 0,58	8 0,46	11 0,44	9 0,50	9 0,56	3 0,44	9 0,50	11 0,36
NAO	1 0,69	1 0,71	1 0,66	12 0,36	3 0,40	3 0,55	4 0,35	3 0,72
EA	6 0,30	7 0,24	2 0,23	5 0,20	12 0,11	- 0,00	12 0,40	12 0,15
EAWR	2 0,32	5 0,26	8 0,34	7 0,44	5 0,57	5 0,52	9 0,40	7 0,33
SCA	1 0,15	1 0,17	9 0,22	11 0,23	10 0,19	4 0,30	5 0,35	8 0,19
TNH	5 0,56	8 0,65	9 0,44	10 0,42	8 0,18	9 0,32	10 0,42	3 0,28
POL	5 0,52	8 0,50	1 0,37	10 0,42	11 0,38	9 0,42	10 0,44	3 0,28
SZ	5 0,52	8 0,57	3 0,32	9 0,28	11 0,38	11 0,34	8 0,16	3 0,28

calculado:

Todas las áreas presentan resultados significativos en algún mes para casi todos los índices ensayados. No obstante, los mejores resultados se obtienen con los índices NAO, SO y las SST (sobre-

todo la tropical global).

Sin embargo hay que recordar que estos son los valores máximos hallados en cada caso, y que la observación de las tablas de cada zona con cada índice sigue produciendo una impresión de aleatoriedad, por aparente falta de coherencia en las variables seleccionadas.

De hecho, con un nivel de significación de 0,05 cabe esperar obtener una relación significativa, puramente por azar, de cada 20 ensayadas. Aquí se han obtenido muchas más (un 60% de las realizadas), lo cual parece indicar que sí existen relaciones reales. Pero por otra parte hay que tener en cuenta que los niveles de significación se calculan para series de datos independientes entre sí y con una distribución normal de probabilidad, condiciones que difícilmente se dan en el mundo real.

Si se repiten los análisis con un nivel de significación de 0,01 (más exigente), algunas de las relaciones encontradas dejan de ser significativas, pero otras muchas se mantienen invariables, y con el mismo aspecto de incoherencia interna en las variables seleccionadas.

De aquí que, como en cualquier otro trabajo en el que se empleen estas técnicas estadísticas, las ecuaciones de regresión deban contrastarse, antes de aceptar su validez, con un conjunto de datos independiente del empleado para generarlas. Aquí no se ha llevado a cabo la ingente tarea de comprobar de este modo todas las ecuaciones generadas, sino sólo una pequeña muestra de ellas, elegidas, eso sí, de entre las que presentaban mejores coeficientes de determinación múltiple.

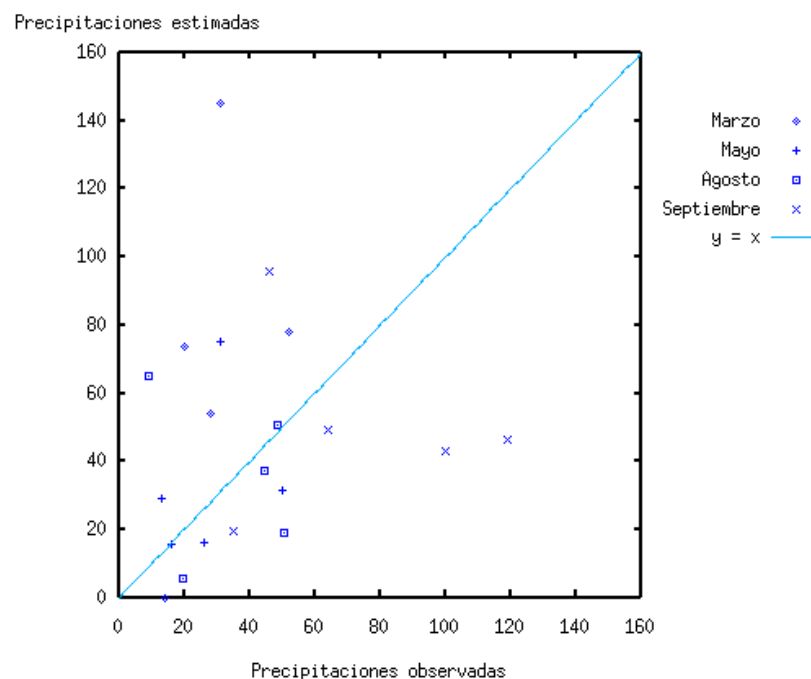


Figura 2. Comparación de las precipitaciones estimadas por 4 ecuaciones de regresión múltiple con las precipitaciones realmente observadas..

Para ello se han aplicado las ecuaciones al cálculo de las precipitaciones trimestrales móviles de Mallorca, durante el periodo 1994-98. Y, tal como hacía prever el aspecto de las tablas resumen, los resultados obtenidos confirman la escasa utilidad predictiva de las ecuaciones generadas. Como ejemplo se puede observar la figura 2, en la que aparecen los datos estimados y observados de las ecuaciones de regresión de las precipitaciones de Mallorca para los promedios trimestrales móviles de marzo, mayo, agosto y septiembre con el índice de la Oscilación del Sur. Estas ecuaciones se obtuvieron en análisis exploratorios complementarios a los expuestos anteriormente, incluyendo desfases temporales de hasta 24 meses, y arrojaron coeficientes de determinación múltiple de 0,78, 0,90, 0,85 y 0,79, con un nivel de significación de 0,01. Sin embargo quedan patentes en la figura los pobres resultados que ofrecen al intentar estimar los datos de comparación.

Posteriormente se realizaron análisis de regresión múltiple adicionales, haciendo intervenir distintas combinaciones de índices simultáneamente (lo que hizo necesario reducir el número de desfases de cada uno). Sin embargo, los resultados no mejoraron a los obtenidos anteriormente

## 5. CONCLUSIÓN

Los métodos de correlación aplicados producen frecuentemente resultados significativos al relacionar los índices de circulación atmosférica de largo periodo con los datos de precipitación en el Mediterráneo, pero gran parte de los mismos presentan una importante carga aleatoria, que se manifiesta en el escaso valor predictivo de las ecuaciones obtenidas cuando se contrastan con un conjunto independiente de datos.

Estos resultados no indican necesariamente que las teleconexiones climáticas no tengan influencia en el Mediterráneo, pero la complejidad del sistema climático hace que estas relaciones sean difíciles de desentrañar, sobre todo con una variable tan compleja como la precipitación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- BARNSTON, A.G. y LIVEZEY, R.E. (1987): "Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns". *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1083-1126.
- GUIJARRO, J.A. (1997): "Some climatological aspects of heavy rainfalls in Mediterranean Spain". *INM/WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, pp 377-384.
- LAITA, M. (1995): *El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo occidental*. Tesis Doctoral, Univ. de les Illes Balears, 184pp+Anexos.
- LINÉS, A. y MABRES, A. (1992): "Repercusiones del fenómeno El Niño en escenarios lejanos", in *Paleo Enso Records*, Extended abstracts, pp 173-174.
- PRICE, C., STONE, L., HUPPERT, A., RAJAGOPALAN, B. y ALPERT, P. (1998): "A possible link between El Niño and precipitation in Israel". *Geophysical Research Letters*, **25**, 3963-3966.
- RASMUSSEN, E.M. y CARPENTER, T.H. (1983): "The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka". *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 517-528.



- ROCHA, A. (1998): "The signature of large-scale atmospheric phenomena on the seasonal precipitation of the Iberian Peninsula". *Second European Conference on Applied Climatology*, ecac98/session1/rocha.pdf, 7 pp.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H. y NIETO, S. (1998): "Sources of precipitation variability over the Iberian Peninsula for winter and spring seasons". *Second European Conference on Applied Climatology*, ecac98/session1/rodrig\_1.pdf, 5 pp.
- RODÓ, X., BAERT, E. y COMIN, F.A. (1997): "Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation". *Climate Dynamics*, **13**, 275-284.
- ROMERO, R., GUIJARRO, J.A., RAMIS, C. y ALONSO, S. (1998): "A 30 year (1964-93) daily rainfall database for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study". *Int. J. Climatology*, **18**, 541-560.
- ROPELEWSKI, C.F. y HALPERT, M.S. (1987): "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation". *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606-1626.

