

## El flujo geostrófico superficial en el Mediterráneo Balear durante el periodo 1948-2002

José A. Guijarro

*Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico en Illes Balears (pmd@inm.es)*

(Recibido: 14-Dic-2003. Publicado: 30-Dic-2003)

### Resumen

A partir de los datos de presión en superficie cada 6 horas del reanálisis del NCEP durante 55 años (1948-2002) en el área de las Islas Baleares (Mediterráneo Occidental), se han calculado las componentes del viento geostrófico, las frecuencias de los flujos de distintas direcciones, y las vorticidades. El análisis de las series temporales indica una tendencia a la disminución de la componente  $U$  y al aumento de la  $V$ , una disminución general de los vientos superiores a 5 y 10 m/s (especialmente los del cuarto cuadrante, mientras que los vientos del E son los únicos que aumentan ligeramente), y un aumento de la vorticidad en el golfo de León y en las zonas marítimas de Palos y Argelia. Un Análisis de Componentes Principales aplicado a los datos de presión resultó concordar con las mencionadas tendencias del viento y la vorticidad geostróficos.

**Palabras clave:** circulación atmosférica, flujo geostrófico, cambio climático, Mediterráneo, Islas Baleares.

### 1. Introducción

En un estudio sobre las tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español (Guijarro, 2002) se observaron tendencias de distinto signo entre el nordeste y el sudoeste del archipiélago balear, así como una tendencia positiva en el sudeste de la Península Ibérica, lo que se atribuyó a posibles cambios en las pautas de la circulación atmosférica en dicha área. Esta hipótesis se apoyaba, por un lado, en el aparente incremento de los episodios de lluvias de barro en la zona (Quereda y Olcina, 1994; Quereda *et al.*, 1996; Fiol *et al.*, 2001) y, por otro, en la ligera tendencia positiva (aunque con escasa significación estadística) encontrada por Laita (1995) en los valores medios mensuales de las componentes  $U$  y  $V$  del viento geostrófico en el Mediterráneo Occidental durante el treintenio 1961-90.

El objetivo de este trabajo es profundizar más en el estudio de las series temporales del viento geostrófico, focalizándolo sobre el área de las Islas Baleares (la zona estudiada por Laita abarcaba desde 5°W hasta 15°E) y estudiando otros aspectos además los valores medios mensuales de sus componentes.

### 2. Metodología

Se ha seguido una metodología muy similar a la empleada por Laita (*Op. cit.*), dado que se parte de datos de presión (reducida al nivel del mar) en una rejilla y se calculan las componentes  $U_g$  y  $V_g$  del viento geostrófico y la vorticidad geostrófica  $Z_g$ , mediante las siguientes expresiones:

$$U_g = \frac{1}{\rho 2\Omega \sin(\phi)} \frac{P_S - P_N}{D_p}$$
$$V_g = \frac{1}{\rho 2\Omega \sin(\phi)} \frac{P_E - P_W}{D_m}$$
$$Z_g = \frac{V_{gE} - V_{gW}}{D_m} + \frac{U_{gS} - U_{gN}}{D_m}$$

Donde  $P_X$  (con  $X = N, S, E, W$ ) indica la presión en los puntos norte, sur, este y oeste (en Pascales),  $D_p$  y  $D_m$  son las distancias entre los paralelos y meridianos en que se hallan los puntos (en metros),  $\phi$  es la latitud (en radianes),  $\Omega = 7,29210^{-5}$  rad/s la velocidad angular de la Tierra, y  $\rho$  la densidad del aire, para la que se ha tomado aquí el valor de la atmósfera estándar al nivel del mar ( $1,2923 \text{ kg/m}^3$ ).

Los datos de presión se han tomado del reanálisis del modelo NCEP, descargándolos de la página <http://www.cdc.noaa.gov/> del NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center (Boulder, Colorado, USA), y comprenden reanálisis a las 00, 06, 12 y 18 horas UTC de cada día durante los 55 años comprendidos entre 1948 y 2002. La rejilla usada tiene una separación entre puntos de  $2,5^\circ$ , y para este trabajo se han empleado los datos comprendidos en los rangos de longitud  $-2,5^\circ\text{W}$  a  $7,5^\circ\text{E}$  y de latitud  $35^\circ\text{N}$  a  $45^\circ\text{N}$ , que forman una matriz de  $5 \times 5$  puntos (figura 1).

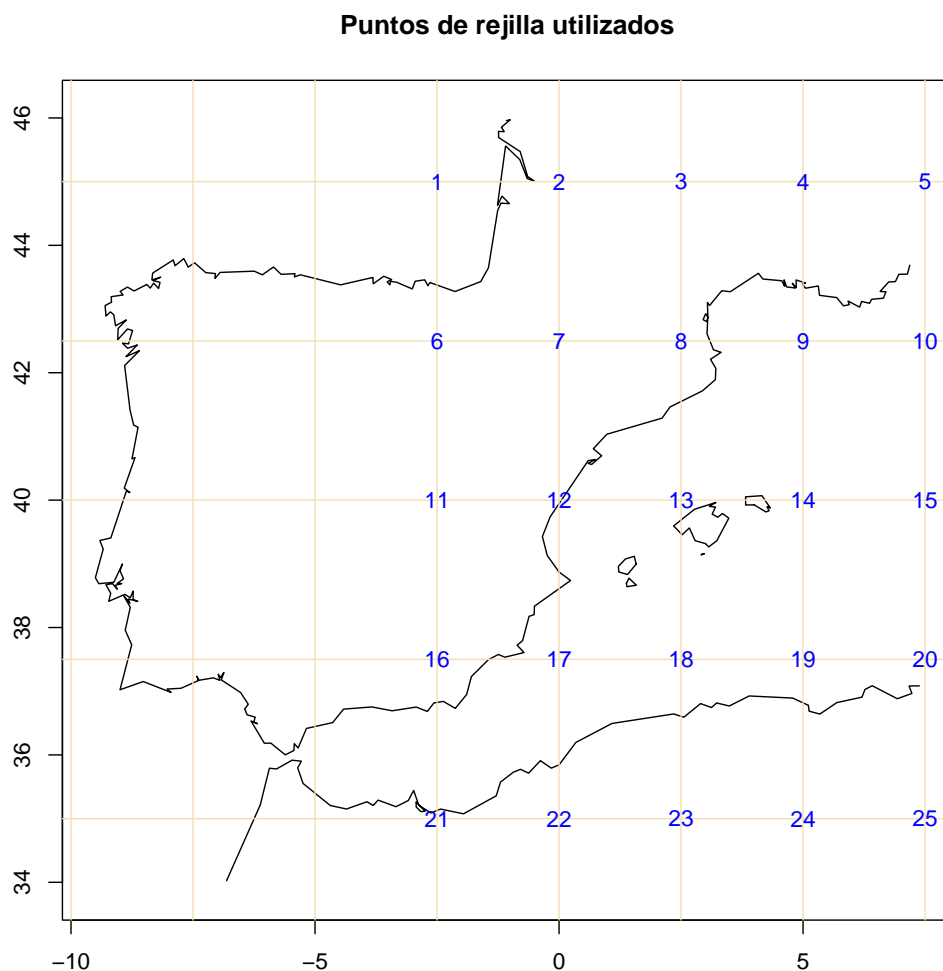


Figura 1: Puntos de rejilla utilizados en este trabajo

Las componentes del viento geostrófico se han calculado para el área formada por los 9 puntos centrales (7-9, 12-14 y 17-19), promediando las presiones de cada lado. Para esos mismos 9 puntos se calculó la vorticidad geostrófica, utilizando para cada uno las presiones de los puntos vecinos en el N, S, E y W.

Para el proceso de datos se ha utilizado únicamente *software* de libre distribución: los datos se descodificaron con ayuda de la utilidad *ncdump* (del paquete *NetCDF*), los parámetros derivados se calcularon mediante programación propia en lenguaje *C* (compilados con *gcc*), y para el posterior tratamiento estadístico se usó el paquete *R*, todo ello en un PC bajo sistema operativo *GNU – Linux*.

### 3. Resultados

#### 3.1. La presión en el punto central

Se comenzó por analizar la serie de presión en el punto central (nº 13), situado frente a la costa NW de Mallorca. Los valores tienen un valor medio de 1016.0 hPa, y se distribuyen en el rango de 973.9 a 1043.0 hPa, si bien el 50 % de los mismos se halla comprendido entre 1013.0 y 1021.0 hPa (primer y tercer cuartil, respectivamente).

Los valores medios mensuales y anuales poseen también una acusada variabilidad (figura 2). La presión media mensual presenta una tendencia de 0,038 hPa/año, que resulta significativa al nivel de  $\alpha = 0,001$  debido a los bajos valores anteriores a 1970, ya que desde ese año la tendencia es inapreciable.

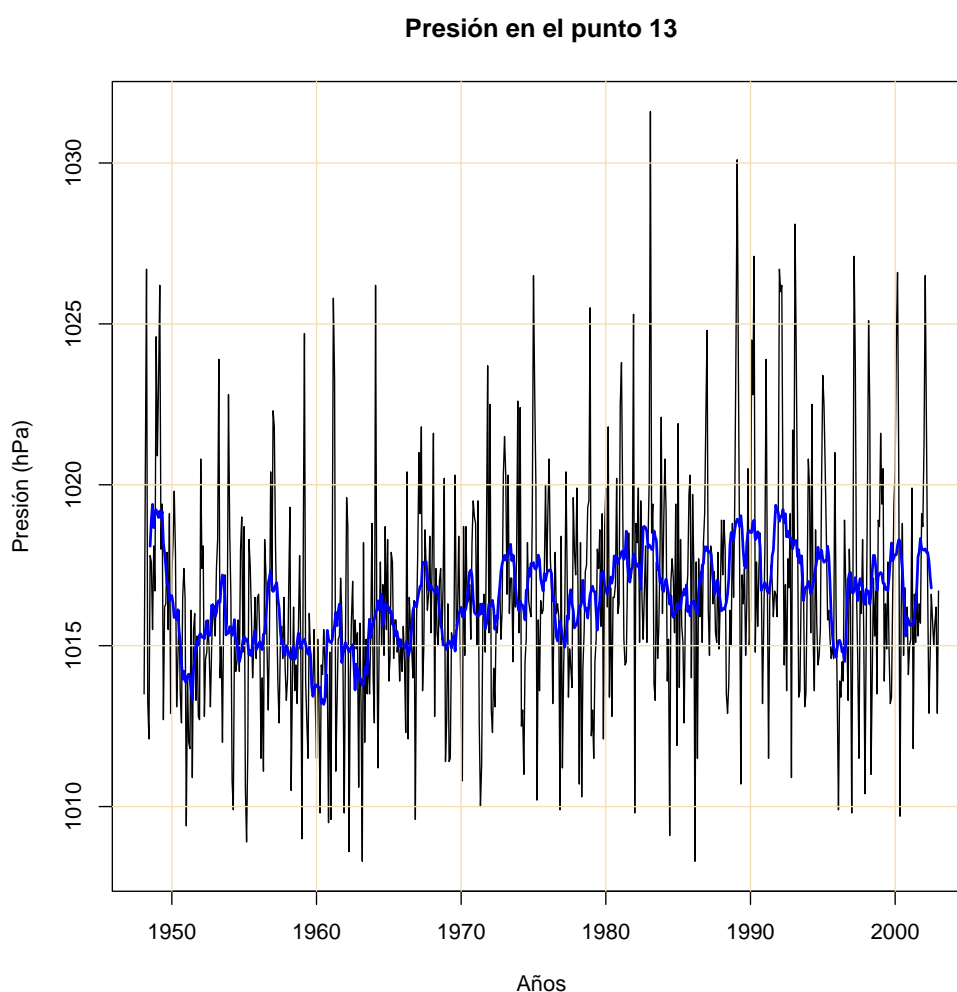


Figura 2: Presiones medias mensuales en el punto nº 13. En azul, medias móviles de 12 meses.

El espectro de frecuencias de las presiones cada 6 horas en ese punto (figura 3) muestra un máximo correspondiente al ciclo anual, en cuya vecindad aparecen máximos secundarios para periodos de 6 meses y 2,77 años. Los periodos inferiores a 1 año están presentes con amplitudes que van decreciendo progresivamente hasta anularse. Esto permite observar la amplitud del ciclo diario, a pesar de su escasa entidad. En el extremo derecho del espectro tenemos el ciclo de 12 horas (máxima frecuencia detectable con datos cada 6 horas), que resulta ser el de mayor amplitud espectral después del ciclo anual. En un punto situado sobre tierra, como el nº 11, la importancia del ciclo semidiurno decrece, mientras que aumenta mucho el diario, fruto de una mayor incidencia del calentamiento-enfriamiento de la superficie a lo largo del día.

### Espectro de frecuencias de la presión del punto 13

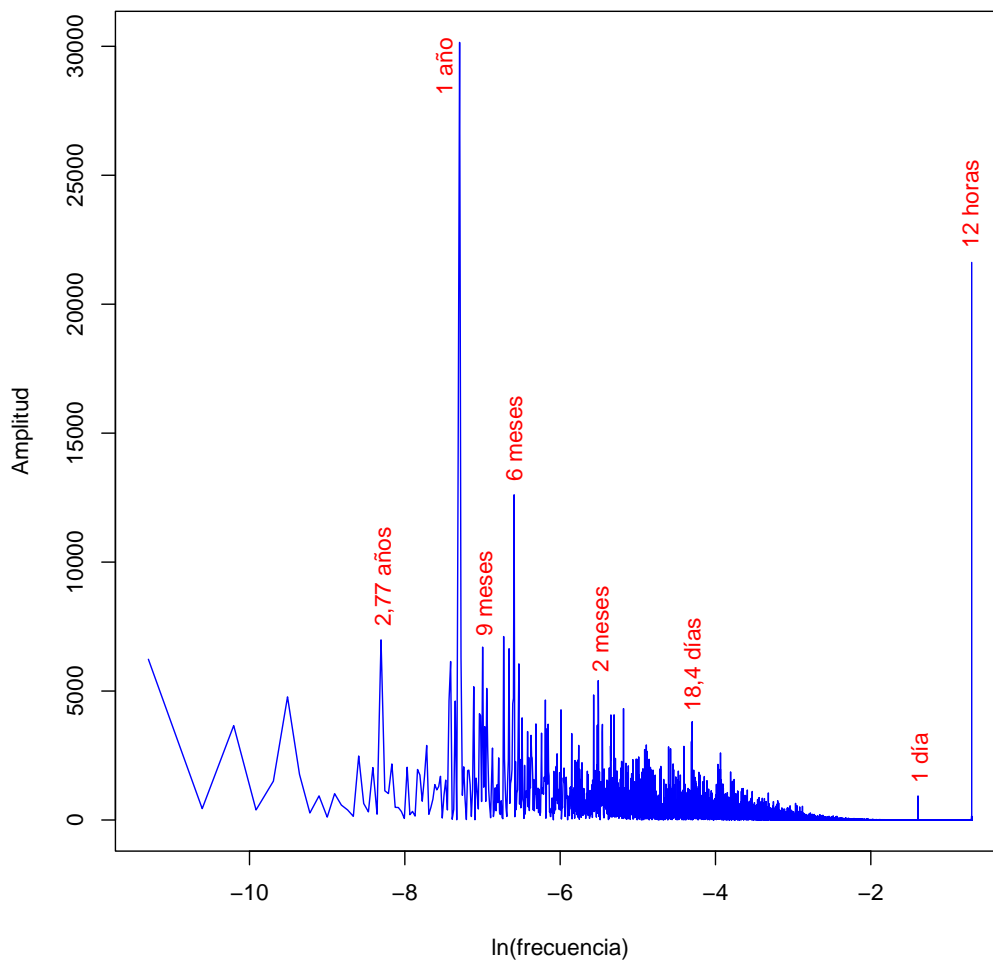


Figura 3: Espectro de frecuencias de la presión en el punto n° 13

### 3.2. El viento geostrófico

La componente  $U$  del viento geostrófico medio en el rectángulo central (con vértices en los puntos 7, 9, 17 y 19) tiene un valor medio de 0,38 m/s, mientras que el valor medio de la componente  $V$  es negativo: -1,56 m/s (tabla 1). Por tanto, el viento geostrófico vectorial medio es de dirección NNW, con una velocidad de 1,61 m/s.

Tabla 1: Resumen estadístico de las componentes del viento geostrófico.

Estadístico	$U_g$ (m/s)	$V_g$ (m/s)
Mínimo	-25.63	-32.88
1 <sup>er</sup> cuartil	-2.28	-4.25
Mediana	0.15	-1.10
Media	0.38	-1.56
3 <sup>er</sup> cuartil	2.78	1.61
Máximo	25.98	25.14

En la figura 4 podemos ver las diferencias existentes entre las medias vectoriales de los vientos mensuales. En la época invernal (de diciembre a febrero), los vientos medios son del NNW, con unos 3 m/s de media vectorial. En primavera se mantiene esa dirección, pero la velocidad disminuye a algo más de la mitad en marzo y abril, y mucho más en mayo, al tiempo que vira al NW. En verano el viento es del primer cuadrante: NNE en junio, NE en julio, y ENE en agosto. El otoño es de transición progresiva hacia el régimen invernal: en septiembre el viento es del NE (aunque con la mitad de velocidad que en julio), en octubre es del N, y en noviembre ya es del NNW como diciembre, aunque con un módulo algo menor.

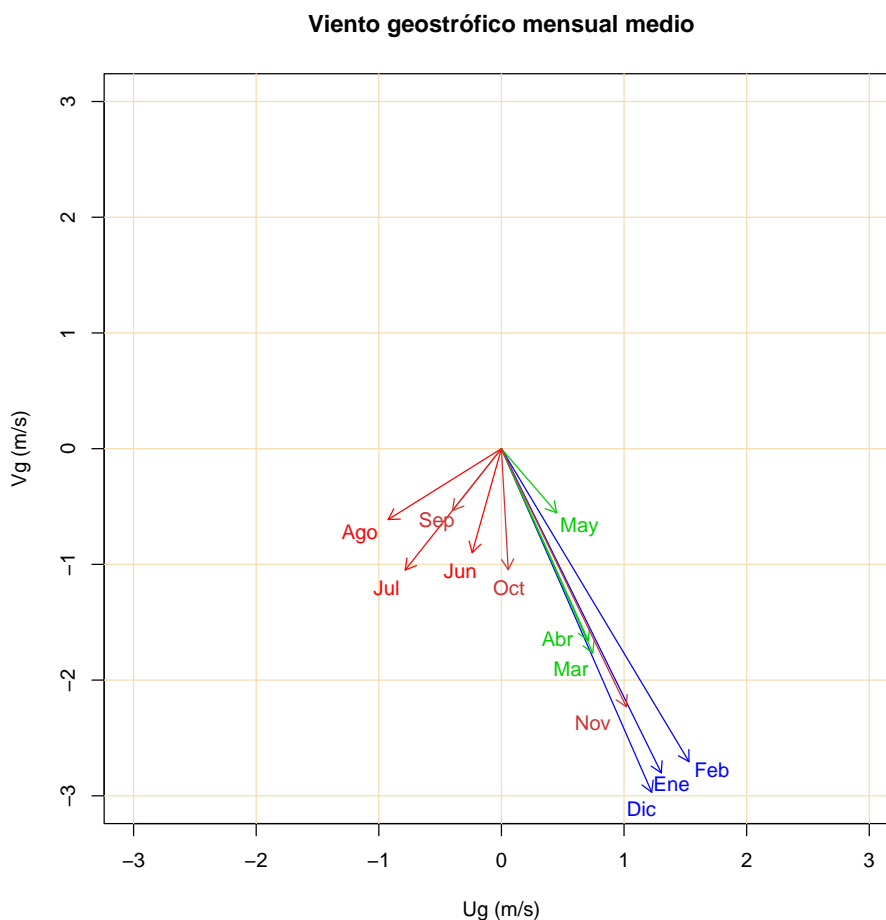


Figura 4: Vientos geostroficados medios mensuales

Las tendencias de los valores medios mensuales de las componentes  $U$  y  $V$  no resultan significativas, debido a su elevada variabilidad. Las medias móviles de 12 términos (1 año) de la componente  $U$  eran casi exclusivamente positivas hasta la segunda mitad de la década de los 80, en que aparecen frecuentes valores negativos, si bien a partir del año 2000 vuelve a presentar valores netamente positivos (figura 5). La tendencia a la disminución, aunque pequeña ( $-0,0077$  m/s/año), es significativa al nivel de 0,001.

Las medias móviles de 12 meses de la componente  $V$  son siempre negativas (vientos medios de componente N), y su tendencia, de  $0,0019$  m/s/año, sólo es significativa al nivel de 0,1, posiblemente debido a la disminución que se observa desde 1990 (figura 6).

Para estudiar la frecuencia de los flujos en las diferentes direcciones se calculó el número de casos en que el viento geostrofico alcanzó o superó los umbrales de 5 y 10 m/s para las 8 direcciones de la rosa de los vientos, y se totalizaron las frecuencias mensuales y anuales. En la tabla 2 se relacionan las frecuencias anuales por direcciones para el segundo de los umbrales. La frecuencia total anual tiene una tendencia de  $-1,05$  casos/año, significativa al nivel de 0,001.

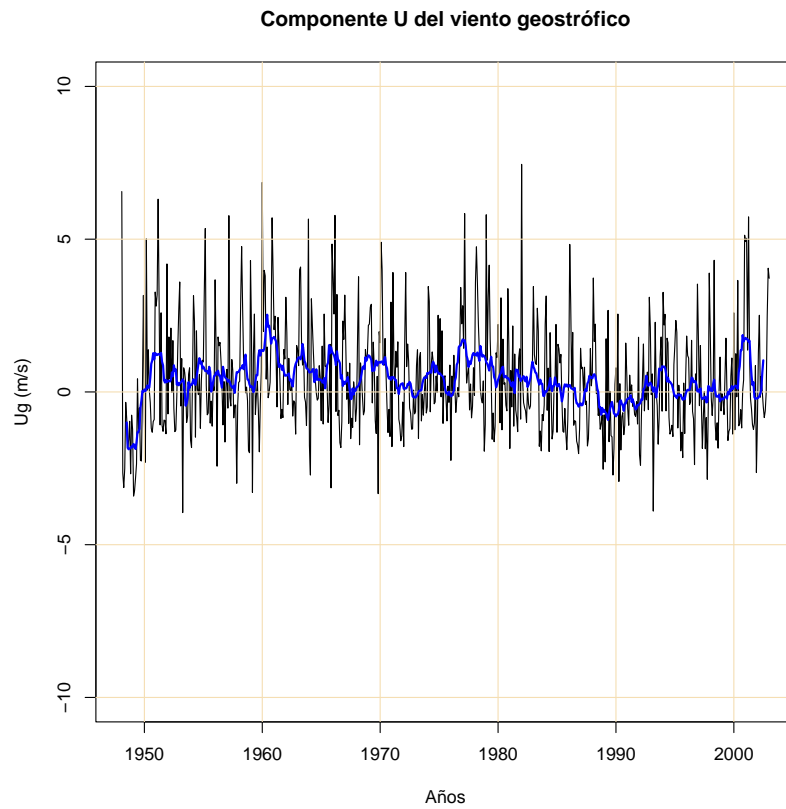


Figura 5: Evolución temporal de las medias mensuales de la componente  $U$  del viento geostrófico. En azul, medias móviles de 12 meses.

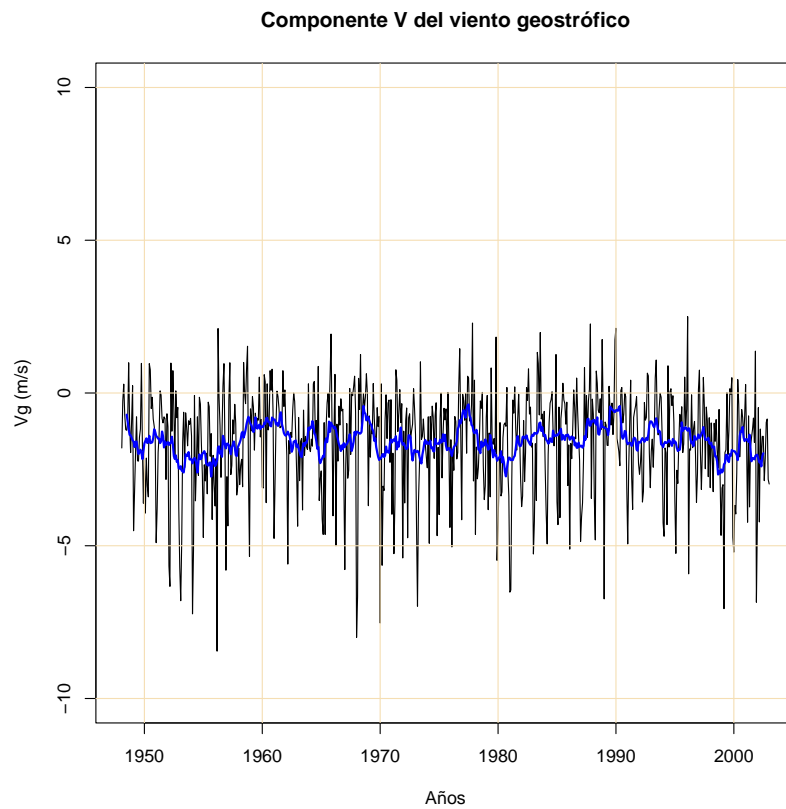


Figura 6: Evolución temporal de las medias mensuales de la componente  $V$  del viento geostrófico. En azul, medias móviles de 12 meses.

Tabla 2: Frecuencias anuales de vientos geostróficos iguales o superiores a 10 m/s, desglosadas por direcciones. (Las medias están expresadas en porcentajes respecto a los 80356 casos estudiados).

Año	N	NE	E	SE	S	W	NW	N	Total
1948	31	45	57	23	2	20	35	12	225
1949	48	71	38	9	0	6	13	17	202
1950	93	23	12	1	1	15	32	43	220
1951	66	23	20	11	2	38	65	34	259
1952	99	35	7	0	2	13	48	51	255
1953	97	24	7	10	9	5	11	24	187
1954	124	39	21	0	4	15	35	57	295
1955	71	23	6	0	2	11	47	40	200
1956	101	36	26	21	5	18	15	36	258
1957	43	46	14	6	0	22	32	23	186
1958	65	16	20	1	1	32	60	52	247
1959	53	12	10	11	5	17	48	62	218
1960	58	9	5	6	2	54	56	34	224
1961	20	9	8	6	0	16	29	44	132
1962	63	39	10	7	2	11	43	40	215
1963	47	19	7	3	9	27	46	51	209
1964	43	26	17	3	4	17	31	32	173
1965	41	35	2	4	6	15	44	51	198
1966	61	21	2	4	10	26	37	56	217
1967	66	40	15	8	2	17	15	13	176
1968	50	20	13	11	7	19	31	32	183
1969	65	28	9	5	3	29	45	39	223
1970	52	17	6	1	5	22	22	36	161
1971	51	41	27	13	3	11	39	57	242
1972	52	25	10	9	10	24	21	31	182
1973	64	52	22	2	7	18	24	25	214
1974	61	27	6	5	1	22	18	50	190
1975	63	24	15	8	9	12	15	37	183
1976	64	20	7	7	5	20	31	34	188
1977	18	17	11	5	2	23	23	25	124
1978	74	25	3	1	3	23	62	55	246
1979	68	48	1	3	7	46	36	40	249
1980	82	34	21	9	2	7	21	55	231
1981	53	18	9	0	3	16	34	52	185
1982	70	15	20	6	7	5	17	27	167
1983	34	9	2	5	1	16	16	29	112
1984	61	41	12	1	14	16	34	25	204
1985	29	51	20	0	3	18	23	28	172
1986	49	26	14	7	3	11	26	37	173
1987	59	16	24	8	8	23	6	20	164
1988	59	28	9	24	0	8	24	41	193
1989	26	14	30	14	3	18	36	25	166
1990	43	20	21	4	1	9	17	36	151
1991	47	26	34	9	9	12	24	11	172
1992	42	28	34	0	0	8	28	27	167
1993	31	14	21	6	2	11	18	17	120
1994	50	14	13	3	4	16	12	28	140
1995	44	37	24	9	6	13	37	30	200
1996	80	25	6	6	15	23	30	40	225
1997	45	18	27	1	15	15	18	25	164
1998	81	25	6	2	4	9	13	18	158
1999	83	42	14	2	2	20	27	37	227
2000	59	14	7	6	3	28	27	24	168
2001	77	41	9	1	1	24	42	22	217
2002	84	2	12	7	4	26	23	37	195
<b>Total</b>	3260	1493	823	334	240	1016	1662	1924	10752
<b>Media( %)</b>	4.1	1.9	1.0	0.4	0.3	1.3	2.1	2.4	13.4

Las tendencias de las frecuencias anuales, para el umbral de 5 m/s, únicamente resultaron significativas para las direcciones W ( $\alpha = 0,10$ ) y NW ( $\alpha = 0,05$ ), que presentan disminuciones de 0,38 y 0,04 casos por año respectivamente. Para el umbral de 10 m/s se repite análogo resultado, con tendencias de -0.31 y -0.23 y mayores niveles de significación ( $\alpha = 0,05$  y  $0,01$  respectivamente).

Las medias móviles de 5 años son más significativas. En la tabla 3 se ofrecen las tendencias de estas medias móviles, para los dos umbrales de velocidad considerados. Para el primer umbral sólo resultan significativos los descensos de las frecuencias de las direcciones comprendidas entre el S y el NW. Para el umbral de 10 m/s todas las direcciones presentan tendencias significativas excepto la del SE, y todas son negativas con excepción de las direcciones E y S (esta última con la particularidad de que para el umbral de 5 m/s presentaba tendencia negativa), si bien los mayores descensos se concentran en el cuarto cuadrante de la rosa de los vientos (de W a N).

Tabla 3: Tendencias de las medias móviles de 5 años de las frecuencias de vientos iguales o superiores a 5 y 10 m/s. (Niveles de significación: \* = 0,05; \*\* = 0,01; \*\*\* = 0,001).

Umbral	Dirección del flujo							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
5 (m/s)	-0.19	-0.03	0.24	-0.03	-0.14	-0.48	-0.58	-0.51
					***	***	***	***
10 (m/s)	-0.40	-0.10	0.10	-0.02	0.05	-0.12	-0.39	-0.33
	**	*	*		**	**	***	***

### 3.3. Vorticidades geostróficas

Las vorticidades calculadas en los 9 puntos centrales del área estudiada presentan los parámetros estadísticos que se pueden ver en la tabla 4. Con la resolución utilizada, los máximos valores de vorticidad media aparecen en los golfos de Valencia (extendiéndose hacia Baleares) y León (junto a uno de los dos grandes máximos de vorticidad hallados por Flocas *et al.*, 2001, en todo el Mediterráneo). Las demás zonas arrojan valores medios negativos, indicando un predominio de las condiciones anticiclónicas.

Tabla 4: Parámetros estadísticos de la vorticidad (en  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) en los 9 puntos centrales.

Punto	Mínimo	1 <sup>er</sup> cuartil	Mediana	Media	3 <sup>er</sup> cuartil	Máximo
7	-20.42	-3.67	-1.48	-1.46	0.69	22.44
8	-11.19	-1.85	-0.35	-0.22	1.22	24.83
9	-10.80	-0.37	1.73	1.94	4.03	29.19
12	-12.22	0.21	2.61	2.69	5.07	29.25
13	-8.09	-1.26	0.34	0.68	2.25	29.43
14	-10.36	-2.35	-1.11	-0.78	0.39	28.14
17	-11.27	-2.87	-0.88	-0.76	1.19	17.17
18	-13.38	-2.36	-0.42	-0.31	1.56	20.24
19	-16.01	-3.33	-1.08	-0.98	1.26	27.97

Para estudiar su evolución temporal, se calcularon los valores medios mensuales de cada punto. Las tendencias, al igual que sucedía con las variables anteriores, presentan niveles de significación diversos, que mejoran al disminuir la variabilidad mediante medias móviles de 12 términos. En la tabla 5 se puede



observar cómo la vorticidad tiende a incrementarse en los puntos 9 (Golfo de León) y 17-18 (área de Palos-Argelia), mientras que tiende a disminuir en el NE y E de la Península Ibérica.

Tabla 5: Tendencias de las vorticidades medias mensuales, y de sus medias móviles de 12 términos, expresadas en  $10^{-6} \text{ s}^{-1}$  por año. (Niveles de significación: + = 0,10; \* = 0,05; \*\* = 0,01; \*\*\* = 0,001).

Punto	Valores mensuales		Medias móviles	
	Tendencia	Sig.	Tendencia	Sig.
7	-0.147	***	-0.151	***
8	-0.048	**	-0.062	***
9	0.110	***	0.091	***
12	-0.048		-0.053	***
13	-0.025		-0.027	**
14	-0.011		-0.012	+
17	0.115	***	0.114	***
18	0.077	***	0.079	***
19	-0.021		-0.017	*

Estas tendencias, en cualquier caso, no son uniformes, como nos muestra la figura 7, en la que podemos ver las evoluciones temporales de la vorticidad mensual en el golfo de León (punto 9) y en el mar de Argelia (punto 18). Se observa que, dentro de la irregularidad de los valores mensuales (es patente el ciclo anual), se dan periodos de relativa estabilidad junto a otros con tendencia más clara, como el aumento en el golfo de León desde 1990 hasta el final del periodo estudiado (final de 2002).

También se procedió a estudiar las frecuencias mensuales de casos con vorticidad igual o superior a  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Las tendencias de estas frecuencias, junto con sus medias móviles de 12 términos, aparecen en la tabla 6. Los valores son muy bajos, pero significativos en muchos casos, y concordantes con las tendencias de las vorticidades medias comentadas anteriormente.

Tabla 6: Tendencias de las frecuencias mensuales de vorticidad igual o superior a  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , y de sus medias móviles de 12 términos, expresadas en casos por año. (Niveles de significación: + = 0,10; \* = 0,05; \*\* = 0,01; \*\*\* = 0,001).

Punto	Frecuencias mensuales		Medias móviles	
	Tendencia	Sig.	Tendencia	Sig.
7	-0.00418	**	-0.00392	***
8	-0.00398	+	-0.00404	***
9	0.01406		0.01222	***
12	-0.01977	*	-0.01897	***
13	0.00094		0.00114	
14	-0.00319		-0.00301	***
17	0.00156		0.00168	***
18	0.00095		0.00164	**
19	-0.00699	**	-0.00609	***

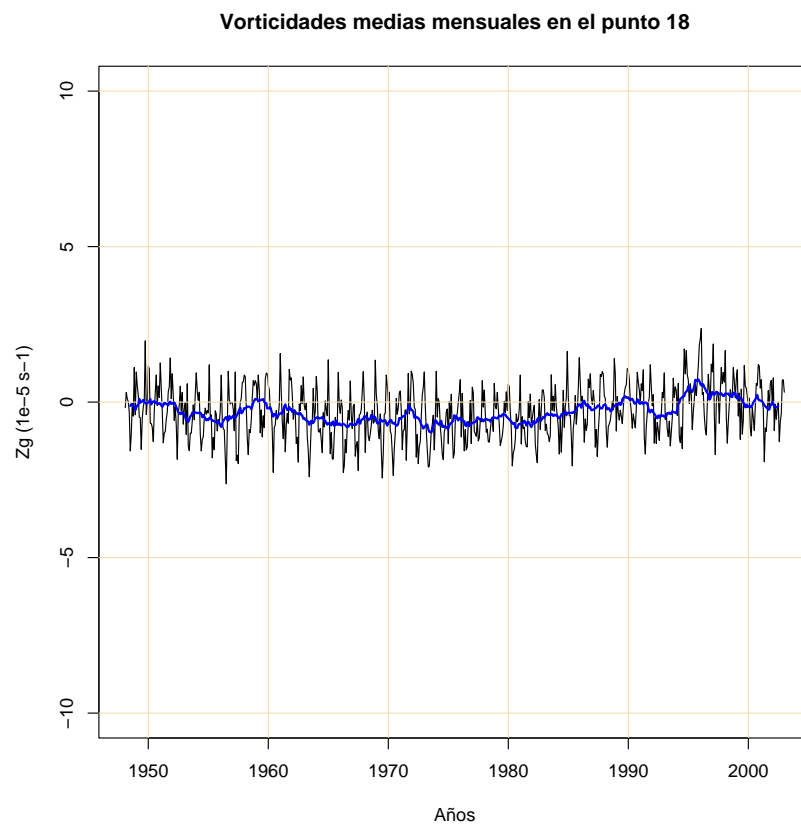
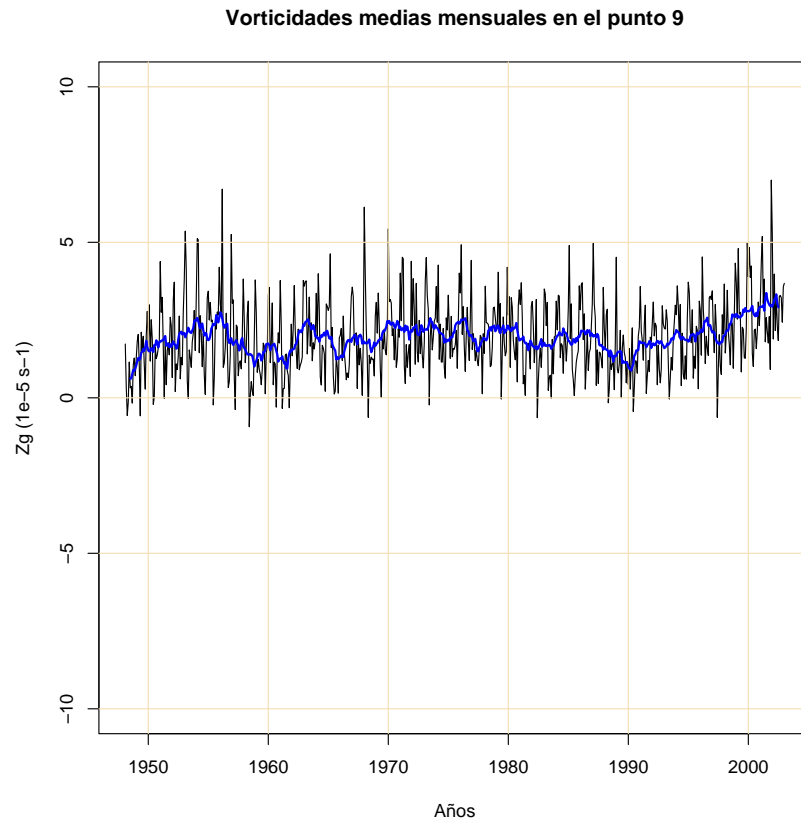


Figura 7: Evolución temporal de la vorticidad mensual media en el golfo de León (punto 9, arriba) y en el mar de Argelia (punto 18, abajo). En azul, medias móviles de 12 meses.

### 3.4. Análisis de componentes principales

Para terminar, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con todos los datos de presión estudiados. Para ello se comenzó por restar, a cada análisis de superficie, el promedio de la presión en los 25 puntos. A continuación se efectuó el ACP, a partir de la matriz de correlaciones. El gráfico de varianzas explicadas por cada componente (fig. 8) muestra que únicamente 4 componentes ganan varianza, destacando los tres primeros, que por sí solos ya explican una varianza acumulada del 86 % (tabla 7), mientras que el cuarto apenas gana varianza respecto a la original. Atendiendo a la pendiente de las varianzas explicadas, se podrían considerar entre 3 y 7 componentes significativas.

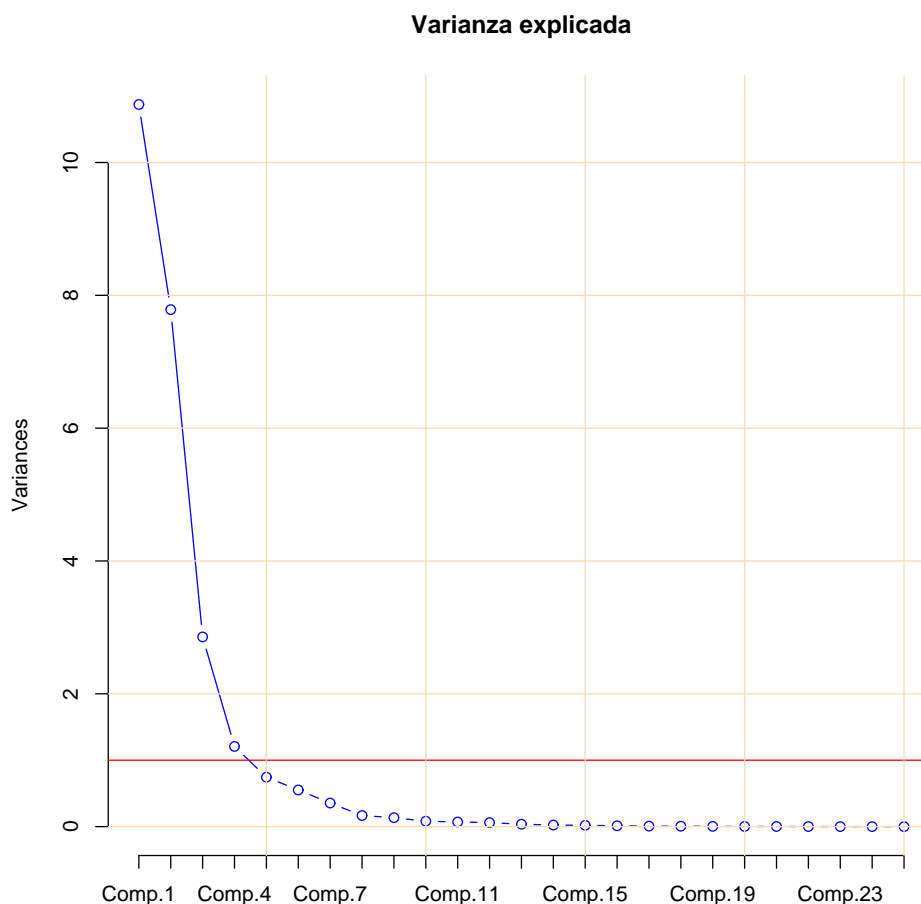


Figura 8: Varianza explicada por las componentes del ACP. (La línea roja indica la varianza unitaria inicial).

Tabla 7: Porcentaje de varianza explicada por las primeras componentes principales.

Comp.	% Varianza	Id. acumulada	Comp.	% Varianza	Id. acumulada
1	43.5	43.5	5	3.0	93.8
2	31.1	74.6	6	2.2	96.0
3	11.4	86.0	7	1.4	97.4
4	4.8	90.8	8	0.7	98.1

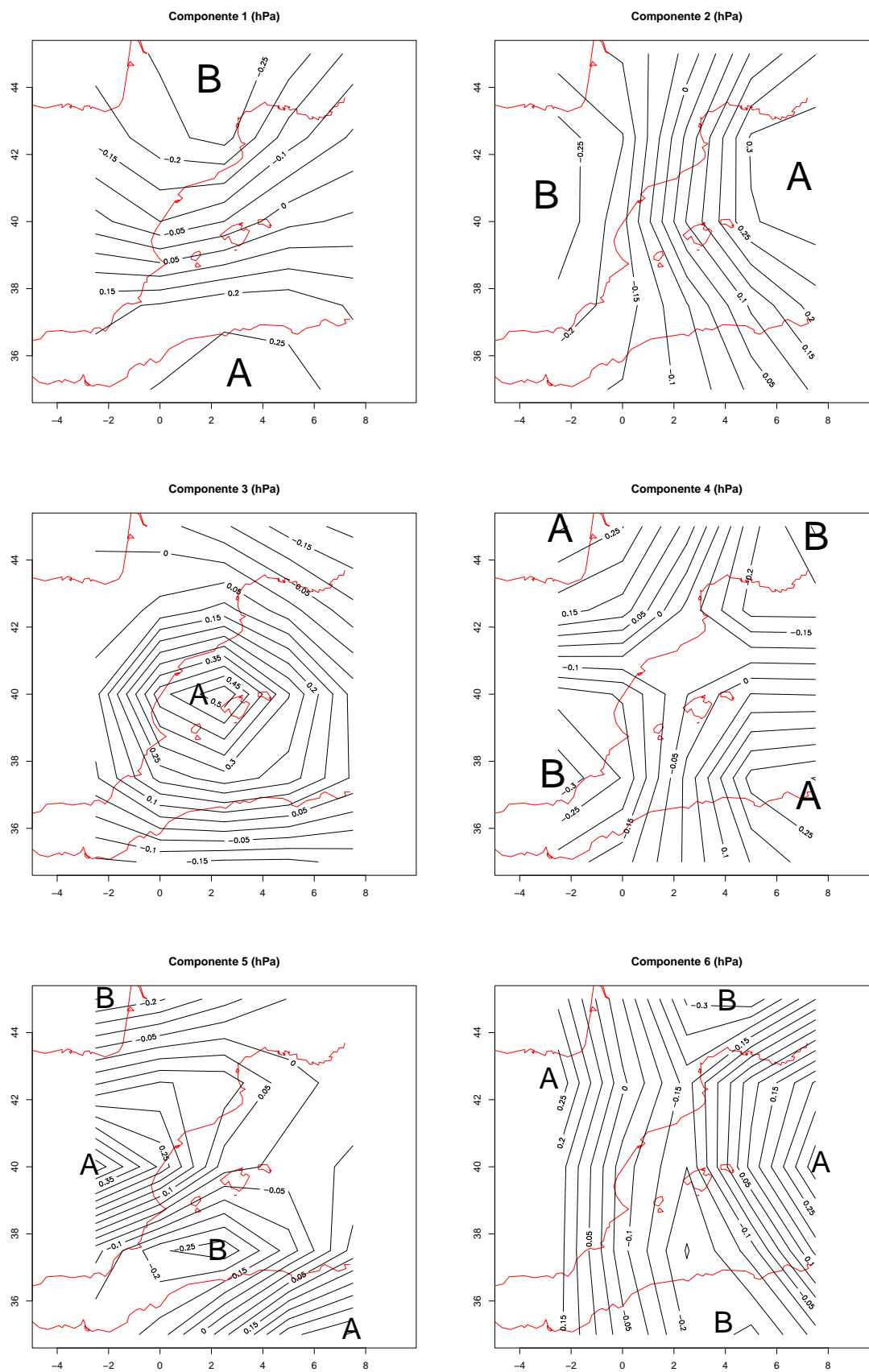


Figura 9: Configuraciones de presión definidas por los pesos de los 25 puntos en las seis primeras componentes principales.

Si se representan gráficamente los 80356 puntos en el plano definido por las componentes 1 y 2, que acumulan un 74,6 % de la varianza total, se obtiene una figura (no mostrada aquí) redondeada con respecto de distribución normal bivariante, que sugiere la ausencia de grupos naturales en las configuraciones de presión.

Los factores de carga (o pesos de las variables originales en las componentes) indican que los extremos positivos de las primeras seis componentes van ligadas a las siguientes configuraciones de presión (véase también la figura 9; las configuraciones opuestas corresponderían a los extremos negativos de cada componente):

**CP1:** Altas presiones en el S y bajas en el N del dominio.

**CP2:** Altas presiones en el E y bajas en el W.

**CP3:** Altas presiones en el centro del dominio.

**CP4:** Altas presiones en el NW y SE, y bajas en el SW y NE.

**CP5:** Altas presiones en la Península Ibérica y Túnez, y bajas en la zonas marítimas de Palos y Argelia.

**CP6:** Altas presiones al E y W del dominio, y bajas presiones en el meridiano central, principalmente en sus extremos N y S.

Nuevamente encontramos que la elevada varianza de los valores medios mensuales de estas componentes no permite detectar tendencias significativas a lo largo del tiempo. Pero si se calculan las medias móviles de 12 términos de esas medias mensuales, se obtienen las tendencias relacionadas en la tabla 8, significativas todas ellas al nivel de 0,001. En la figura 10 se puede observar la evolución temporal de los promedios mensuales de las componentes. Al estar representadas en forma de desviaciones respecto a sus medias respectivas, a pesar de la variabilidad que muestran se puede apreciar el signo de las tendencias relacionadas en la tabla, que son todas negativas con excepción de las componentes 2 (relacionada con la tendencia a la disminución de la componente norte del viento geostrófico comentada anteriormente) y 5 (aumento de las depresiones en el mar de Argelia).

Si sumamos las componentes 1 y 3, y restamos la 2, entonces sí que se obtiene una tendencia negativa significativa al nivel  $\alpha = 0,001$  en las series originales de 80356 casos, sin aplicar ninguna suavización.

Tabla 8: Tendencias de las medias móviles de 12 términos de los valores medios mensuales de las 6 primeras componentes principales, expresadas en milésimas por año.

Componente	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Tendencia	-3.81	3.88	-2.55	-1.78	3.31	-4.11

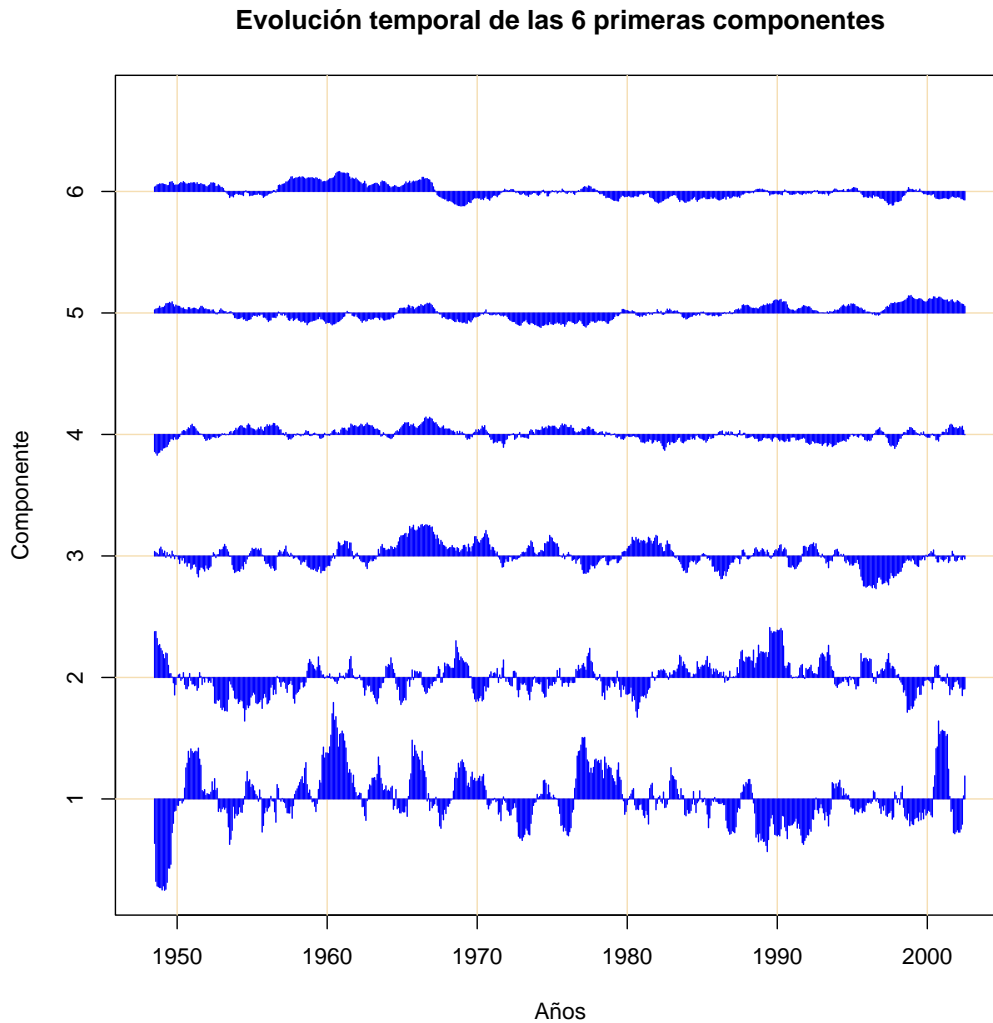


Figura 10: Evolución temporal de los promedios mensuales de las seis primeras componentes del ACP (desviaciones respecto al valor medio).

#### 4. Discusión y conclusiones

Se ha analizado la evolución temporal de las componentes del flujo geostrófico, de las frecuencias de flujos de distintas direcciones superiores a 5 y 10 m/s, de las vorticidades, y de las componentes principales más importantes, y en todos los casos la acusada variabilidad se ha mostrado como un obstáculo para determinar tendencias estadísticamente significativas. Mediante el uso de medias móviles se ha conseguido suavizar las series, alcanzando así mejores niveles de significación en las tendencias, que indican una disminución de la componente  $U$  del viento geostrófico y un aumento de la componente  $V$  (disminución en valor absoluto, puesto que sus valores son predominantemente negativos), consistentes con una disminución de las frecuencias de los vientos del cuarto cuadrante (de W a N). Por otra parte, la vorticidad geostrófica muestra una tendencia a aumentar en el golfo de León y en las zonas marítimas de Palos y Argelia, y a disminuir en el NE y E de la Península Ibérica.

La evolución temporal de las primeras seis componentes del ACP indican una disminución del gradiente de presión S-N y un aumento del E-W, en concordancia con las tendencias de las componentes  $U$  y  $V$  del viento geostrófico. La tercera componente del ACP muestra una disminución de los anticiclones centrados en las Baleares, consistente con el aumento (no significativo) de la vorticidad en el punto central del área estudiada. La cuarta componente muestra una ligera disminución de las configuraciones

con altas presiones en NW/SE y bajas en SW/NE, que son neutras respecto al viento geostrófico medio en la zona central. Pero la quinta componente apunta a un incremento en la frecuencia de centros de baja presión en las zonas de Palos y Argelia, en concordancia con el incremento de la vorticidad en esa zona y con el aumento de la frecuencia de vientos de levante.

Se puede objetar que el recurso a suavizar las series para aumentar la significación de las tendencias debe emplearse con ciertas reservas, dado que también se obtienen frecuentes tendencias significativas calculando medias móviles de series de números pseudoaleatorios (aunque en menor proporción). Pero las tendencias obtenidas son consistentes entre ellas, y también con la tendencia al aumento de la precipitación en las islas Pitiusas y SW de Mallorca frente a la disminución en Menorca y N y NE de Mallorca, así como al aumento en el SE peninsular. E igualmente justificaría la tendencia al aumento de los episodios de lluvias de barro apuntado por diversos autores.

No obstante, estas tendencias no son uniformes, sino que se intensifican en algunos periodos e incluso cambian de signo en otros: aumento de la componente  $U_g$  desde 1988, disminución de  $V_g$  desde 1990, etc. Por tanto no podemos discernir si se trata de tendencias ligadas al progresivo aumento de  $CO_2$  en la atmósfera, como parece indicar la concordancia de las tendencias de precipitación en el mediterráneo español con los cambios estimados para finales del presente siglo por Sumner *et al.* (2003), o simplemente son oscilaciones de largo periodo. En cualquier caso, resulta deseable una continuación del trabajo en el que se estudien conjuntamente las variaciones de la circulación con los cambios observados en la precipitación de la zona, para lo que previamente será necesario llevar a cabo una homogeneización lo más completa posible de los datos pluviométricos (incluyendo tanto el relleno de las lagunas de observación como el filtrado y corrección de los errores de las series).

## Bibliografía

- Fiol LA, Guijarro JA y Fornós JJ (2001): Las lluvias de barro en el Mediterráneo Occidental: El caso de Mallorca. *Revista de Climatología*, 1:7-20.
- Flocas HA, Maheras P, Karacostas TS, Patrikas I y Anagnostopoulou C (2001): A 40-year climatological study of relative vorticity distribution over the Mediterranean. *Int. Jour. of Climatol.*, 21:1759-1778.
- Guijarro JA (2002): Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. En GUIJARRO *et al.* (Eds.), *El agua y el clima*, Asociación Española de Climatología, A-3:237-246.
- Laita M (1995): *El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo occidental*. Tesis Doctoral, Univ. de les Illes Balears, 184 pp. + Anexos (inédita).
- Quereda JJ y Olcina J (1994): Incremento de lluvias de barro en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. ¿Un signo de cambio atmosférico?. En *Cambios y variaciones climáticas en España* (Actas de la 1ª Reunión del Grupo de Climatología de la AGE), Univ. de Sevilla/Fundación El Monte, pp. 235-257.
- Quereda J, Olcina J y Montón E (1996): Red dust rain within the spanish mediterranean area. *Climatic Change*, 32:215-228.
- Sumner G, Romero R, Homar V, Ramis C, Alonso S, Zorita E (2003): An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. *Climate Dynamics*, 20:789-805.

