

ESTIMACIÓN DE LA OCURRENCIA DE LA BRISA MARINA EN ALICANTE

César AZORÍN MOLINA
Laboratorio de Climatología
Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante

RESUMEN

En este trabajo se define el grado de ocurrencia de las circulaciones de vientos en régimen de brisa marina en el espacio litoral de la comarca del Campo de Alicante, durante el quinquenio 1999-2003. Para estimarlo se plantea una metodología para la selección de los días con disparo de la brisa marina y de su aplicación manual se obtienen unos resultados preliminares, a partir de los cuales se valora la ocurrencia del fenómeno. El presente estudio demuestra la capacidad de sople de la marinada durante todo el año, en función de la sucesión de favorables marcos atmosféricos sobre la escena sinóptica del Levante español. Los primeros resultados obtenidos ponen de manifiesto que la brisa marina no es, como se ha estudiado, un mecanismo “exclusivo” del verano astronómico mediterráneo, sino que se comprueba que, en términos de ocurrencia, en invierno este fenómeno también puede llegar a ser importante en la dinámica atmosférica de todo el espacio litoral alicantino.

Palabras clave: Brisa marina, diferencia térmica tierra-mar, grado de ocurrencia, Alicante.

ABSTRACT

This paper is aimed at defining the degree of occurrence of wind circulations in sea breeze regime along the coastline of the regional area called Campo de Alicante, during the five-year period between 1999 and 2003. In order to measure this degree of occurrence, a methodology for the selection of those days in which sea breeze is triggered has been set up. The results obtained after its manual application are used to estimate the occurrence of the phenomenon. This study shows the gust capacity of the marinada during the whole year, depending on the successive favourable atmospheric scenarios over the synoptic pattern of the Levant region of Spain. The first results obtained show that sea breeze is not, as it has been studied, an “exclusive” mechanism of the Mediterranean astronomical summer. However, it can be observed that, as far as its degree of occurrence is concerned, this phenomenon may become important for atmospheric dynamics during the winter on the coast of Alicante.

Key words: Sea breeze, thermal differential land-sea, degree of occurrence, Alicante.

1. INTRODUCCIÓN

En la fachada oriental de la península Ibérica la brisa marina representa un fenómeno meteorológico de relevancia significativa en los rasgos conferidos al tiempo atmosférico diario, dado el elevado grado de regularidad y ocurrencia con el que opera. En este sentido, la brisa marina es un mecanismo atmosférico que ha preocupado a investigadores desde los orígenes de la ciencia climática. Sin embargo, ni ha sido profundamente estudiado ni los resultados alcanzados acerca de la dinámica y funcionamiento de los regímenes circulatorios de brisas en el Levante mediterráneo español han sido definitivos. Existen, por tanto, numerosas lagunas por descifrar, ya que las circulaciones de vientos locales han sido escasamente investigadas por el colectivo de

geógrafos y físicos españoles dedicados al estudio del clima, cuestión que contrasta con los importantes avances publicados acerca de esta temática en revistas anglosajonas para otras áreas del planeta.

Entre las referencias más destacadas de la bibliografía climática y meteorológica española, destacan, durante la primera mitad de la pasada centuria, los postulados de FONTSERÉ (1915) en su estudio sobre brisas en el litoral catalán, de CUÑAT (1928), o los propios de JANSÁ y JAUME (1946) en sus trabajos sobre regímenes de brisas en las islas Baleares. A ellos se unen los trabajos más recientes llevados a cabo durante las últimas décadas del siglo pasado por RAMIS y ALONSO (1988), RAMIS *et al.* (1990), RAMIS y ROMERO (1995) y ROMERO y RAMIS (1996) para Baleares; REDAÑO *et al.* (1991), y PROHOM (1998), para el litoral catalán y, QUEREDA (1987), QUEREDA y MONTÓN (1994 y 1998), SALVADOR (1990 y 1999), SALVADOR y MILLÁN (2003), y OLCINA y AZORÍN (2004) para el ámbito valenciano. Además, durante los últimos lustros también ha existido una preocupación, cada vez más importante, hacia la investigación del papel que cumplen los circuitos de brisas en la dispersión de contaminantes sobre las principales ciudades españolas ribereñas al mar Mediterráneo. Siguiendo esta línea de trabajo, muy interesantes han resultado los avances e investigaciones sobre dinámica atmosférica regional realizados desde la Fundación CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) por MILLÁN, ESTRELA, SALVADOR y otros investigadores (2002) adscritos a este centro científico. No en vano, la bibliografía climática española sigue siendo pobre en estudios y avances sobre circulaciones mesoescalares de brisas, cuestión que resulta paradójica dado el importante papel atmosférico que estos vientos desempeñan, en mayor o menor medida, en toda la franja litoral colindante a este mar interior.

En síntesis, el presente trabajo tiene por objeto plantear la metodología utilizada de forma manual para seleccionar los días de brisa marina y mediante los resultados obtenidos se realiza una estimación del grado de ocurrencia en Alicante. Al mismo tiempo, se justifica que la marinada no es un mecanismo atmosférico “exclusivo” del verano astronómico mediterráneo, por lo que en términos de ocurrencia resulta impropia la expresión “fenómeno estival” al que numerosos investigadores se han referido.

2. METODOLOGÍA

2.1. Datos de viento

Para el estudio de la frecuencia de la brisa marina en Alicante, no teniendo como fin último el de cuantificar exactamente un valor medio estadístico de días anual y mensual en el que dispara la brisa, sino más bien para remarcar la idea de que la marinada no es un mecanismo atmosférico propio del estío, se ha utilizado la serie de datos de dirección y velocidad media de viento, con periodicidad semihoraria, de la estación meteorológica automática del Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante (Instituto Universitario de Geografía). La puesta en funcionamiento de la misma, a mediados del mes de agosto de 1999, ha obligado a utilizar los referidos datos de viento de la estación meteorológica automática de Alicante-Renfe (Avda. Salamanca), dependiente de la Red de Vigilancia y Control de Contaminación Atmosférica (*Conselleria de Territori i Habitatge*), con objeto de subsanar los siete meses y medio sin registros de viento en la serie correspondiente a ese año, así como las pocas lagunas existentes. Al hilo de ello, se ha de indicar

que la campaña experimental ha comprendido un lustro (1999-2003), serie climática que, teniendo en cuenta su resolución semihoraria, resulta especialmente útil a la hora de vislumbrar comportamientos de carácter general en la recurrencia anual del fenómeno.

2.2. Criterios de método utilizados para la selección de los días de brisa marina

Pese al carácter completamente manual del trabajo de selección de los días de brisa, se utilizaron criterios objetivos con la finalidad de distinguir las jornadas en que el viento tenía por causa un condicionamiento térmico local, frente aquellas donde las circulaciones laminares del aire se atribuían a factores de naturaleza sinóptica. En efecto, se seleccionaron aquellos días que presentaban una variación típica de brisa y se excluyeron el resto de ellos que no ofrecían un patrón de comportamiento regular. En este sentido, la metodología empleada para seleccionar de forma manual los días en que dispara la brisa marina en Alicante, tuvo en cuenta los siguientes criterios o filtros:

2.2.a. Cambio brusco en la dirección y velocidad del viento al comienzo y final del período diurno (STEYN y FAULKNER, 1986; REDAÑO *et al.*, 1991; BANFIELD, 1991; GUSTAVSSON *et al.*, 1995; BORNE *et al.*, 1998; FURBERG *et al.*, 2002; entre otros autores)

La evolución diaria del viento en régimen de brisa es la siguiente: Generalmente, tras el soplo del terral durante la noche con dirección comprendida entre la componente SO a N, momentos después del orto se produce un giro en la componente del viento, aproximadamente entre 120 y 180°. En su caso, la nueva dirección debe estar comprendida entre el intervalo de rumbos del NE a S, ampliándose al SSO y SO en caso de alcanzar el grado de madurez (disposición del viento con dirección paralela a la línea de costa, en virtud del efecto provocado por la fuerza de Coriolis) (NEUMANN, 1984) y, por ende, registrarse durante los períodos semihorarios inmediatos al cese de la brisa marina. Además, se fija en 5,4 km/h (1,5 m/s) el umbral mínimo de velocidad media estimado para considerar a la circulación de viento establecida durante el comienzo del período diurno como brisa marina (SALVADOR y MILLÁN, 2003), magnitud también aplicada para detectar los períodos en régimen de brisa de tierra. Es de notar, que entre el cese del terral y el disparo de la marinada a primeras horas de la mañana se producen breves períodos transitorios, con débil movimiento horizontal del aire (velocidades medias inferiores a 5,4 km/h) desde la componente N a NNE, y de S a SO. El cese de la marinada se produce momentos antes o después del ocaso y se detecta por un descenso de la velocidad del viento marino por debajo del umbral de soplo establecido. Paralelamente, le acompaña un cambio en la dirección de viento y tras un nuevo período transitorio (paso de régimen de brisa de mar a brisa de tierra durante la tarde-noche) se establece, generalmente, el terral.

2.2.b. Diferencia térmica positiva entre tierra firme y mar (STEYN y FAULKNER, 1986; BORNE *et al.*, 1998; FURBERG *et al.*, 2002; SALVADOR y MILLÁN, 2003; entre otros autores)

Se requiere de este condicionamiento local para que el cuerpo de aire de mar ocupe el vacío relativo generado por convección y ascenso del aire en tierra, induciendo así al movimiento del aire de mar a tierra: Brisa marina, marinada o virazón. Para ello, el cálculo se estimó mediante la utilización del valor de temperatura máxima diaria de la estación de Alicante-Renfe y la del Laboratorio de Climatología, mientras que la temperatura superficial del agua del mar (Tsm) fue facilitada por el Instituto de Ecología Litoral de El Campello, referidos a los muestreos mensuales

realizados a 4 ó 5 km de la playa de la Albufereta (Alicante) durante las campañas 1999-2003. Al disponer de un solo dato por mes de Tsm, se procedió a calcular el valor de la temperatura superficial del agua del mar para cada uno de los días seleccionados, aplicando el método de interpolación con los datos disponibles, tras el primer filtrado de registros.

No obstante, en la mayoría de investigaciones realizadas al respecto, ha pasado completamente desapercibido el hecho de que no es necesario que exista una diferencia térmica positiva entre ambas superficies para que opere la brisa marina. Aplicando este criterio, numerosos estudios han discriminado aquellas jornadas en que la diferencia de temperatura entre la tierra (la estándar a 1,5 m de altura) y el agua del mar es negativa y la dirección de viento típica de brisa, ya que se afirma que, al no haberse establecido el gradiente de presión entre ambas superficies, probablemente la circulación del aire está inducida por factores de naturaleza sinóptica. De las referencias revisadas, sólo WATTS (1955) hizo notar que la brisa marina puede desarrollarse, a menudo, si la diferencia de la temperatura entre la tierra y la superficie del mar es muy pequeña, aunque fijó en 2°C la diferencia térmica exigida entre ambas superficies como condición indispensable para el disparo de la marinada.

Frente a este planteamiento generalizado, los resultados preliminares alcanzados en este trabajo demuestran lo contrario, puesto que se ha comprobado que esta excepción, es decir, la circulación de brisas marinas con diferencia térmica negativa tierra-mar, ocurre bajo el siguiente marco atmosférico: Noches de frío intenso, con temperaturas mínimas de madrugada muy bajas. La temperatura máxima diaria (la estándar a 1,5 m de altura) no supera el valor de la Tsm, pero la brisa marina parece hipotéticamente disparar en virtud del brusco ascenso térmico operado al comienzo del período diurno sobre la superficie terrestre (superior a la Tsm). Este mecanismo físico genera una fuerza inercial suficiente para hacer soplar el viento de mar a tierra, conformándose una circulación local de marinadas. De todos los casos estudiados, esta situación es típica de final del otoño, invierno e inicio de la primavera, teniendo como denominador común todas ellas la irrupción de aire frío sobre la columna troposférica.

A modo de ejemplo, el día 24 de enero de 2000 ilustra esta hipótesis, por cuanto la temperatura máxima diaria al nivel de la estación automática del Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante fue de 10,6°C (a las 14:30 h TMG), mientras la Tsm alcanzó los 13,2 °C en la playa de la Albufereta, con diferencia térmica tierra-mar de - 2,6°C. El violento disparo de la temperatura al comienzo del período diurno, de 7 u 8°C (se pasó de 2,4°C a las 7:00 h TMG a unos 10°C tres horas y media más tarde), determinó el soplo de una circulación de vientos con dirección y velocidad en régimen de brisa marina a partir de las 12:30 h hasta las 18:00 h TMG, alcanzando rachas máximas de 19,3 km/h (Tabla 1). Además, otro dato que confirma el condicionamiento local asociado a este viento y, por ende, descarta su origen sinóptico, se encuentra en la evolución de la presión atmosférica durante el día. En efecto, el mecanismo convectivo se observa de forma clara en el descenso de presión operado entre el momento de disparo, con 1017,5 mb a las 12:30 h TMG, y el mínimo barométrico registrado durante el período de soplo de brisa, de 1016,5 mb en los períodos semihorarios correspondientes a las 14:30 y 15:30 h TMG. Éste se acompaña de un ascenso de la presión a 1017,7 mb al finalizar el soplo de la marinada a las 18:00 h TMG. Como indicación complementaria, se ha de subrayar que en esta jornada la escena sinóptica peninsular estuvo gobernada en superficie por una cuña anticiclónica prolongada por el borde meridional de una dorsal, situada con eje N-S sobre el Atlántico Oriental, mientras la masa de aire, en origen Ártica marítima (Am), comenzaba a ocupar todos los niveles troposféricos.

El comportamiento del viento diurno, siguiendo las características típicas de la brisa marina, valida la excepción planteada a este criterio de selección y, además, justifica el soplo de la marinada en invierno.

2.2.c. Campo bórico indefinido o de exiguo gradiente de presión en niveles superficiales sobre la escena sinóptica del Levante español y cuenca del Mediterráneo Occidental (criterio de selección indicado por todos los autores como requisito atmosférico indispensable para el soplo de la brisa)

Con el fin de excluir aquellos días que probablemente estaban influenciados por los cambios importantes a gran escala de las condiciones sinópticas, se realizó una revisión de los mapas de tiempo de análisis en superficie a las 12 y 18 h TMG del Boletín Meteorológico Diario publicado por el Instituto Nacional de Meteorología (INM), al tratarse del período diurno de soplo de la marinada. Mediante su consulta se discriminaron aquellos días que, previamente seleccionados al cumplir los anteriores filtros, presentaban un gradiente de presión sinóptico fuerte, causa primera éste de la desvirtuación del mecanismo mesoescalar de la brisa marina, excluyendo por tanto las jornadas con variaciones sinópticas importantes (BORNE *et al.*, 1998).

Una síntesis de las situaciones sinópticas modélicas que acompañan el disparo de la brisa marina, reconoce los siguientes tipos de escenarios atmosféricos sobre el territorio peninsular:

1. Dominio de altas presiones -de origen dinámico o térmico- (con ápice centrado, puente o cuña anticiclónica);
2. Situaciones de pantano o marasmo barométrico y
3. Altas o bajas presiones relativas, incluyendo el escenario de baja térmica meseteña.

Por otra parte, junto a estos tres criterios de método principales, la brisa de mar también se detecta por:

1. Amortiguación o descenso en la curva de temperaturas dibujada en el termograma,
2. Elevación en la curva de humedad relativa del aire representada en el higrograma. Mecanismos inversos operan con el disparo nocturno del terral y,
3. Descenso de la presión atmosférica después del disparo de la brisa marina, con mínimo barométrico durante la tarde y recuperación de ésta con el cese del virazón.

2.3. Área de estudio

Como último apunte metodológico, se debe indicar que los resultados obtenidos, que a continuación se presentan (Tabla 1), son orientativos de toda el área de estudio, que abarca la planicie litoral de la comarca del Campo de Alicante. De este modo, aunque los resultados sobre el grado de ocurrencia de la brisa marina que se presentan en este trabajo se refieren a un punto concreto (Alicante), resultan ciertamente representativos de todo el sector costero de esta comarca alicantina.

Se ha de subrayar, por otra parte, que las condiciones topográficas locales resultan importantes en el desarrollo de la brisa marina, así como en sus características y asociadas (MAHRER y PIELKE, 1977; XIAN y PIELKE, 1991). Así, la barrera montañosa del norte de Alicante resguarda en parte al plano litoral alicantino de los vientos de origen sinóptico, del tal modo que este rasgo intrínseco del área de estudio puede ser interesante a la hora de explicar el grado de ocurrencia de la

marinada. En consecuencia, en ciertos casos el viento sinóptico opera en las cubetas del interior alicantino, mientras sobre el espacio litoral consigue disparar la brisa marina.

Tabla 1. Datos climáticos del día 24/01/2000.

Situación modélica de brisa marina de invierno, con diferencia térmica negativa entre la temperatura del aire en tierra (estándar a 1,5 m) y la superficial del agua del mar (Tsm)

Hora (TMG)	T. ^a Actual (°C)	T. ^a Máx. (°C)	T. ^a Min. (°C)	Presión (mb)	Veloc. Med. (km/h)	Veloc. Máx (km/h)	Dirección	Hum. (%)
0:00	5,1	5,4	4,9	1019,2	4,8	9,7	ONO	72
0:30	4,9	5,4	4,4	1019,1	6,4	11,3	ONO	74
1:00	4,4	4,6	4,3	1018,9	4,8	12,9	ONO	71
1:30	4,3	4,7	3,8	1018,9	8,0	14,5	O	74
2:00	4,1	4,3	3,8	1018,9	8,0	16,1	ONO	69
2:30	4,2	4,4	4,1	1018,8	4,8	8,0	ONO	65
3:00	4,4	4,5	4,2	1018,7	3,2	8,0	O	63
3:30	4,1	4,2	4,1	1018,8	4,8	8,0	O	60
4:00	4,4	4,6	4,1	1018,5	4,8	8,0	ONO	54
4:30	4,2	4,6	3,9	1018,5	4,8	9,7	O	56
5:00	3,3	3,9	2,8	1018,5	8,0	14,5	O	61
5:30	2,9	3,1	2,7	1018,6	9,7	14,5	ONO	60
6:00	2,6	2,7	2,5	1018,8	6,4	12,9	ONO	61
6:30	2,4	2,5	2,4	1019,0	3,2	8,0	ONO	63
7:00	2,6	2,8	2,4	1019,2	6,4	12,9	ONO	61
7:30	2,7	3,0	2,6	1019,5	8,0	12,9	ONO	58
8:00	3,6	3,8	3,0	1019,5	8,0	14,5	O	55
8:30	4,1	4,5	3,8	1019,5	8,0	14,5	O	56
9:00	5,1	5,7	4,5	1019,4	6,4	11,3	O	55
9:30	6,4	7,1	5,7	1019,3	4,8	9,7	O	53
10:00	7,8	8,6	7,1	1019,2	3,2	6,4	O	51
10:30	9,4	9,9	8,6	1019,0	3,2	9,7	O	48
11:00	9,8	10,1	9,6	1018,5	4,8	11,3	SO	46
11:30	10,1	10,3	10,0	1018,2	4,8	12,9	SSO	47
12:00	9,9	10,1	9,9	1017,9	4,8	12,9	SSE	48
12:30	9,8	10,1	9,7	1017,5	6,4	17,7	SE	50
13:00	9,7	9,8	9,6	1017,2	6,4	17,7	ESE	52
13:30	9,8	9,9	9,7	1017,1	6,4	14,5	ESE	52
14:00	9,8	10,3	9,7	1016,8	6,4	12,9	E	51
14:30	10,5	10,6	10,3	1016,5	6,4	17,7	SE	52
15:00	10,4	10,5	10,3	1016,5	8,0	19,3	ESE	53
15:30	10,3	10,5	10,1	1016,6	9,7	19,3	ESE	54
16:00	10,0	10,1	9,8	1016,6	9,7	17,7	ESE	55
16:30	9,7	9,8	9,6	1016,8	8,0	14,5	ESE	55
17:00	9,5	9,7	9,4	1017,1	6,4	11,3	E	56
17:30	9,2	9,4	8,8	1017,5	4,8	12,9	ESE	59
18:00	8,7	8,8	8,4	1017,7	3,2	11,3	NE	60
18:30	8,2	8,4	8,0	1018,1	3,2	6,4	NNE	62
19:00	7,7	8,0	7,4	1018,4	4,8	9,7	N	59
19:30	7,5	7,6	7,4	1018,7	4,8	11,3	N	57
20:00	7,4	7,5	7,3	1018,8	4,8	11,3	N	57
20:30	7,1	7,4	6,8	1018,8	3,2	8,0	N	60

21:00	6,7	6,8	6,5	1018,9	1,6	6,4	N	61
21:30	6,2	6,5	5,9	1018,9	3,2	6,4	ONO	65
22:00	5,3	5,9	4,8	1018,9	3,2	6,4	ONO	69
22:30	4,6	4,8	4,2	1019,1	0,0	3,2	ONO	72
23:00	4,1	4,2	3,9	1019,1	1,6	6,4	ONO	72
23:30	4,1	4,2	3,8	1018,9	1,6	6,4	ONO	73
24:00	3,8	3,9	3,6	1018,9	3,2	6,4	ONO	74

Brisa marina	
Terral	
Período transitorio	

Fuente: Estación meteorológica automática del Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante.

3. RESULTADOS

La aplicación de estos criterios, realizada de forma manual para cada día del quinquenio 1999-2003, ha permitido obtener unos primeros resultados, de carácter preliminar, acerca del número de días de brisa marina en la comarca del Campo de Alicante. Aun sujetas de ser validadas en próximos trabajos, las cuestiones planteadas en este apartado son estimativas del grado de ocurrencia de la brisa marina en el espacio litoral alicantino.

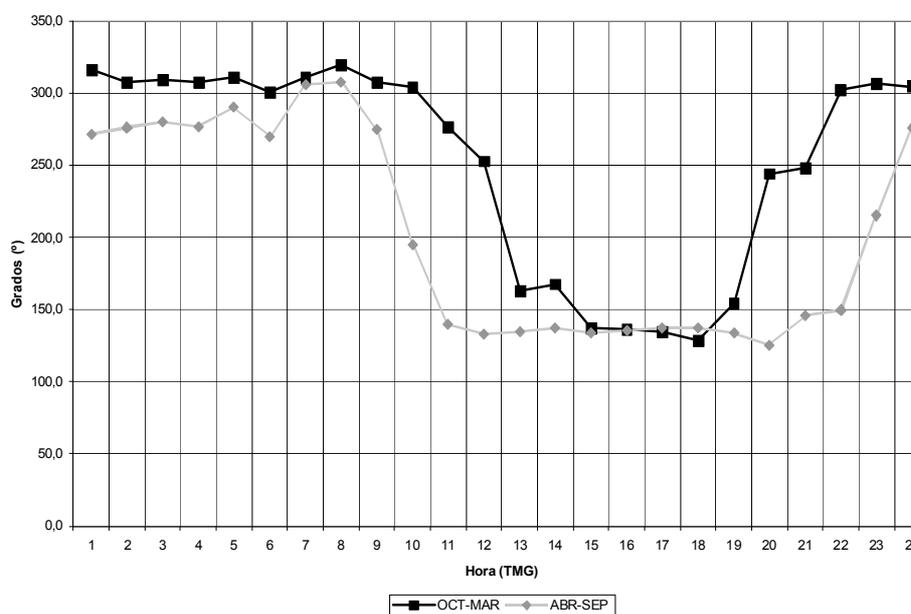


Fig. 1. Evolución media de la dirección del viento en régimen de brisa marina en Alicante, durante el semestre abril-septiembre y octubre-marzo de 2002

De los datos obtenidos tras realizar el filtrado de los criterios de método a los registros de velocidad y dirección de viento, se comprueba como rasgo principal que la marinada no es un fenómeno atmosférico exclusivo de la estación del verano, tal y como ha sido estudiado este mecanismo por algunos investigadores. En este sentido, generalmente los estudios sobre circulaciones locales de viento han restado importancia al papel que juega el régimen de brisas en

el litoral mediterráneo durante todo el año, ya que aunque durante la época fría el virazón es menos intenso, penetra poco hacia el interior y la duración de soplo se restringe a escasas horas (Fig. 1), determinadas condiciones sinópticas son favorables para que la brisa marina dispare con una frecuencia importante en invierno.

De este modo, si bien en verano la estabilidad y calma atmosférica garantizada por el aire tropical hace de la brisa marina un fenómeno singular de todo el litoral levantino, siendo éste extremadamente recurrente, el dominio en invierno de la circulación general del oeste interrumpe su disparo, pasando a ser este mecanismo menos periódico. Sin embargo, este patrón general de comportamiento no resulta idéntico para todos los años de la serie estudiada en Alicante, resultando la brisa marina en cuanto a grado de ocurrencia muy variable entre unos inviernos y otros; frente a la regularidad interanual que ofrece en verano. El establecimiento de condiciones persistentes de estabilidad atmosférica en el centro del invierno, causadas por campos de alta presión de bloqueo (de naturaleza indistintamente térmica o dinámica), se erige como el percutor del soplo de viento en régimen de brisa en los meses fríos del año. En consecuencia, el examen de los resultados obtenidos justifica plenamente esta idea comentada, como se comprueba en la elevada variabilidad que muestran los meses de enero y febrero de 2000, con dominio en la escena sinóptica de bloqueos anticiclónicos y frecuencias de brisa cercanas a las registradas en verano (enero 80,6% y febrero 86,2%), frente a los mismos del año 2001, regidos por las situaciones advectivas del oeste y el paso de superficies frontales atlánticas (enero 19,4% y febrero 53,6%). En cambio, la estabilidad atmosférica intrínseca del estío mediterráneo, hace de la brisa un fenómeno muy regular en el tiempo atmosférico alicantino durante el semestre abril-septiembre (Tabla 2).

Tabla 2. Frecuencia mensual de días de brisa marina en Alicante (1999-2003. En %)

	E	F	M	A	MY	J	JL	AG	S	O	N	D
1999	41,9	53,6	45,2	66,7	67,7	100,0	96,8	93,5	60,0	41,9	50,0	35,5
2000	80,6	86,2	74,2	50,0	80,6	90,0	96,8	96,8	83,3	61,3	16,7	51,6
2001	19,4	53,6	58,1	76,7	87,1	93,3	93,5	96,8	76,7	77,4	43,3	54,8
2002	67,7	85,7	58,1	70,0	71,0	80,0	87,1	93,5	86,7	67,7	36,7	48,4
2003	41,9	32,1	61,3	56,7	77,4	83,3	80,6	90,3	63,3	25,8	36,7	38,7
Media	50,3	62,2	59,4	64,0	76,8	89,3	91,0	94,2	74,0	54,8	36,7	45,8

El análisis detallado de los resultados acerca del grado de ocurrencia de la marinada en Alicante durante el lustro comprendido entre 1999-2003, ofrece los siguientes rasgos generales:

- El número de días de brisa crece de forma constante desde el invierno al verano, mientras desciende de forma muy brusca en la estación de otoño. Así pues, despunta un pico máximo veraniego en los meses de julio y agosto, con un número medio de días de brisa marina de 28,2 y 29,2, respectivamente, y un mínimo otoñal en noviembre, con media de 11,0 días de brisa. Se demuestra con ello el dominio absoluto de las circulaciones de brisas en verano (frecuencia media mensual de días de brisa del 89,3% en junio, 91,0% en julio y 94,2% para agosto), el protagonismo de las situaciones advectivas en las jornadas otoñales de noviembre (36,7%) y diciembre (45,8%), y el peso relativo en cuanto a número de días del virazón en invierno (enero 50,3% y febrero 62,2%), fenómeno éste totalmente desapercibido en muchos estudios.

- Pese a los elevados porcentajes de frecuencia de la brisa marina en los meses de invierno (frecuencia media del 52,8% para diciembre, enero y febrero), en número de días la estación del verano casi la duplica (frecuencia media del 91,5% para junio, julio y agosto). En este sentido, la canícula veraniega es el período del año en el cual la marinada se comporta de forma más regular, apenas variando de unos años a otros. A casi idéntica conclusión llegó PROHOM (1998) en su estudio sobre la brisa marina estival en Sant Pere Pescador (Girona), afirmando que la frecuencia mayor de la marinada se registra durante la segunda quincena de julio (91,4%) y primera de agosto (86,7%).
- El número medio mensual de días de brisa se cifra en 20,3. Sólo en los meses que transcurren entre mayo y septiembre, ambos inclusive, el número de días de marinada supera la media, quedando por bajo de éste en el resto de meses. Como se ha indicado, el fenómeno de la brisa se comporta muy irregularmente durante el período frío del año, ya que para que este fenómeno opere es necesario el reemplazo de las circulaciones advectivas de origen sinóptico, dominantes en esta estación, por condiciones de estabilidad atmosférica. En cambio, la calma del verano potencia la regularidad del mecanismo de vientos locales en régimen de brisa, elevando la frecuencia de días de brisa por encima del 90%.

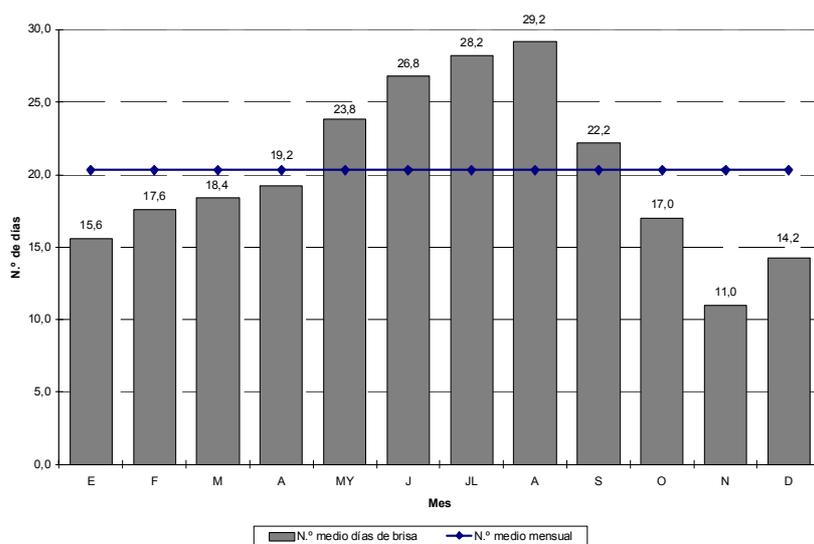


Fig. 2. Número medio mensual de días de brisa marina en Alicante (1999-2003)

- Por último, la frecuencia anual de días de brisa se sitúa en un 66 % para la serie estudiada. Como hipótesis, se debe hacer notar que este porcentaje, aunque difiere entre unos años y otros, tampoco presenta grandes fluctuaciones, oscilando entre un 60 y 70%. Este dato puede resultar sumamente interesante, ya que, aunque no deja de ser una estimación preliminar, la correspondencia más o menos ajustada en el total de días anual de brisa en los cinco años parece indicar un cierto reajuste en los patrones anuales de circulación atmosférica: De tal modo que aunque puedan haber unos años más advectivos frente a otros que resulten menos importantes estas situaciones, traduciéndose en un mayor o menor porcentaje anual de días de brisa, el computo final demuestra un ajuste estacional de las situaciones sinópticas, como confirman los valores absolutos obtenidos.

4. CONCLUSIONES

El estudio de la brisa marina como fenómeno estival resta importancia al verdadero grado de protagonismo que, al menos en la franja litoral, desempeñan estas circulaciones de vientos locales a lo largo de todo el año.

Si bien durante el semestre cálido del año que transcurre entre los meses de abril y septiembre es cuando la brisa alcanza mayor importancia, en cuanto a recurrencia, intensidad de soplo y grado de penetración tierra adentro, en invierno el dominio de los vientos de origen sinóptico no resulta del todo absoluto. En consecuencia, el presente trabajo ha demostrado la capacidad de soplo en términos de ocurrencia de la brisa marina durante todo el año, no sólo en verano, sino en aquellos meses que, equívocamente, se han considerado no favorables para su formación.

Del análisis exhaustivo de los resultados preliminares obtenidos tras aplicar un filtro manual con criterios de selección a las series de velocidad y dirección de viento en Alicante durante el período 1999-2003, se llega a la conclusión que la brisa marina es un fenómeno “inducido” por la naturaleza térmica diferente entre las superficies marina y terrestre, aunque con excepciones (situaciones de frío intenso con diferencia térmica negativa tierra-mar), e “influenciado” por el marco de dinámica atmosférica a escala general. Prueba de ello se obtiene al comprobar que la brisa marina que opera en invierno se encuentra gobernada por la escena sinóptica, que define los marcos de presión favorables para el soplo regular del viento en régimen de brisa marina en invierno.

La creación de una base de datos con los días de brisa marina sirve para conocer las características y mecanismos físicos asociados, de enorme utilidad a la hora de desarrollar técnicas de predicción en estudios futuros de un mecanismo atmosférico cuyo papel, olvidado en los estudios de clima, resulta ciertamente extraordinario en todo el litoral levantino peninsular.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se ha llevado a cabo en el marco de la beca predoctoral FPU del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD), que el autor desarrolla en el seno del Laboratorio de Climatología de la Universidad de Alicante, adscrito al Instituto Universitario de Geografía. Además, el autor agradece al Instituto de Ecología Litoral de El Campello (Alicante) la cesión de los datos de temperatura superficial del agua del mar (Tsm), y a la *Conselleria de Territori i Habitatge* la utilización de los datos de viento de Alicante, pertenecientes a la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica.

6. REFERENCIAS

- BANFIELD, C.E. (1991). “The frequency and surface characteristics of sea breezes at St. Johns, Newfoundland”. *Climatol. Bull.*, 25 (1), pp. 3-20.
- BORNE, K.; CHEN, D. and NUNEZ, M. (1998). “A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the swedish west coast”. *International Journal of Climatol.*, vol. 18, pp. 901-914.

- CUÑAT, E.M. (1928). “Generalidades de las brisas”. *Anales de la Sociedad Española de Meteorología*, vol. II, pp. 93-102.
- FONTSERÉ, E. (1915). “Desarrollo de la brisa marina en el litoral de Barcelona”. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes*, tercera época, vol. XI, pp. 453-454.
- FURBERG, M.; STEYN, D. G. and BALDI, M. (2002). “The climatology of sea breezes on Sardinia”. *International Journal of Climatology*, vol. 22, pp. 917-932.
- GUSTAVSSON, T. *et al.* (1995): “A study of sea and land breezes in an archipelago on the west coast of Sweden”. *International Journal of Climatology*, vol. 15, pp. 785-800.
- JANSÁ GUARDIOLA, J.M.^a y JAUME TORRES, E. (1946). “El régimen de brisas en la Isla de Mallorca”. *Revista de Geofísica*, Año IV, 19, pp. 304-328.
- MAHRER, Y. and PIELKE, R. A. (1977). “The effect of topography on sea and land breezes in a two-dimensional numerical model”. *Monthly Weather Review*, 105, pp. 1151-1162.
- NEUMANN, J. (1984). “The Coriolis force in relation to the sea and land breezes. A historical note”. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 65, pp. 24-26.
- OLCINA CANTOS, J. and AZORÍN MOLINA, C. (2004). “The meteorological importance of sea breezes in the Levant region of Spain”. *Weather*, en prensa.
- PROHOM DURAN, M.J. (1998). “Principales características de la brisa marina estival en un punto de la costa catalana: Sant Pere Pescador”. En: VIII *Coloquio del Grupo de Métodos Cuantitativos de Información Geográfica y Teledetección*, AGE, Bellatera, Barcelona, pp. 167-179.
- QUEREDA SALA, J. (1987). « Les vents sur le cote orientale de l’Espagne », *Met-Mar*, 136, pp. 29-33.
- QUEREDA SALA, J. y MONTÓN CHIVA, E. (1994). “Los vientos de superficie en el litoral de Castellón”. Ediciones de la Caja Rural Credicoop, Castellón, 47 pp.
- QUEREDA SALA, J. y MONTÓN CHIVA, E. (1998). “El escenario atmosférico de los contaminantes sobre el litoral mediterráneo”. En: FERNÁNDEZ GARCÍA, F., GALÁN GALLEGU, E. y CAÑADA TORRECILLA, R. (Coords.). *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Editorial Parteluz, Madrid, pp. 482-494.
- RAMIS, C. y ALONSO, S. (1988). “Sea-Breeze convergence line in Majorca. A satellite observation”, *Weather*, vol. 43, pp. 288-293.
- RAMIS, C.; JANSÁ, A., and ALONSO, S. (1990). “Sea breeze in Mallorca. A numerical study”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 42, pp. 249-258.
- RAMIS, C. and ROMERO, R. (1995). “A first numerical simulation of the development and structure of the sea breeze in the island of Mallorca”. *Annales Geophy.*, 13, pp. 981-994.
- REDAÑO, A.; CRUZ, J. and LORENTE, J. (1991). “Main features of the sea-breeze in Barcelona”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 46, pp. 175-179.
- ROMERO, R. and RAMIS, C. (1996). “A numerical study of the transport and diffusion of coastal pollutants during the breeze cycle in the island of Mallorca”. *Annales Geophy.*, 14, pp. 351-363.
- SALVADOR, R. (1990). *Base de conocimiento de dispersión atmosférica: Metodología para la determinación de parámetros significativos en la formación de brisa marina en Castellón*. Informe CIEMAT. 46 pp.
- SALVADOR, R. (1999). *Análisis y modelización de los procesos atmosféricos durante condiciones de brisa en la costa mediterránea occidental: Zona de Castellón*. Tesis Doctoral.
- SALVADOR, R. y MILLÁN, M. (2003). Análisis histórico de las brisas en Castellón. *Thethys*. Asociación Catalana de Meteorología, pp. 37-51.
- STEYN, D. G. y FAULKNER, D. A. (1986): “The climatology of sea-breezes in the Lower Fraser Valley”, *B. C. Climatological Bulletin*, 20 (3), pp. 21-39
- MILLÁN, M. (2002). *Ozone dynamics in the Mediterranean basin*. CEAM, Valencia, 287 pp.
- WATTS, A. (1955). “Sea breeze at Thorney Island”. *Meteorological Magazine*, 84, pp. 42-48.
- XIAN, Z. and PIELKE, R. A. (1991). “The effects of width of landmasses on the development of sea breezes”, en *Journal Applied Meteorology*, 30, pp. 1280-1304.

