

Las brisas marinas y su significación geográfica

El caso de Mallorca

GABRIEL ALOMAR GARAU

Grup de Climatologia, Hidrologia, Riscs Naturals i Territori
Universitat de les Illes Balears (UIB)

RESUMEN

La brisa marina es un fenómeno atmosférico causado por el calentamiento y enfriamiento desigual de dos áreas vecinas, marina y terrestre. En la isla de Mallorca, en el centro del Mediterráneo occidental, el sistema de brisas adopta unas características prototípicas, hasta el punto de que su efectividad permite una fácil constatación común y la subsiguiente verificación científica. Las brisas costeras tienen en la isla un comportamiento espacial pluridireccional y un carácter unitario, de manera que operan simultáneamente desde las diferentes costas y penetran, acopladas al terreno, hacia áreas del interior, en las que convergen típicamente, actuando como mecanismo de generación de tormentas convectivas estivales. A esto se une la influencia de las brisas en todas las esferas del asentamiento humano: territorial, económico y social.

Palabras clave: Brisa marina, geografía, precipitaciones estivales, Mallorca.

ABSTRACT

Sea breeze is an atmospheric phenomenon caused by the uneven heating and cooling of terrestrial and maritime neighboring areas. In the Isle of Mallorca, in the center of the western Mediterranean, the coastal breezes presents prototypical characteristics. It is so consistent that its effectiveness allows for easy common as well as scientific verification. The breeze system is defined in Mallorca by its multi-directional spatial behaviour and its unifying nature. As a result of the physical insularity of the land, sea breezes have multiple orientations and of opposite direction. This means that they operate simultaneously from different coasts, and penetrate inland –coupled to the ground– to inland areas where they typically converge, a fact that serves as a trigger for the formation of convective clouds of stormy character. To this must be added the influence of breezes in all areas of human settlement: territorial, economic and social.

Keywords: Sea-breeze, geography, summer rainfall, Majorca.

1. INTRODUCCIÓN

En las fronteras entre el mar y tierra firme, una de las manifestaciones atmosféricas más evidentes de la relación entre ambos dominios es la brisa marina, un fenómeno que la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992) define como “viento de las regiones costeras que sopla durante el día desde una extensión grande de agua (mar o lago) hacia tierra debido al calentamiento diurno desde el suelo”. En efecto, cuando el sol calienta una porción de la superficie terrestre, el aire calentado a su vez en contacto con esta superficie se eleva por convección, creándose un gradiente horizontal de presión que provoca que el aire marítimo –más denso y pesado– se mueva en dirección al área de aire ascendente sobre tierra –más ligero–, para rellenar allí el vacío generado (Simpson, 1994). Ya que la dirección del viento tierra adentro se orienta a lo largo de este gradiente de presión, la brisa de mar es, inicialmente, perpendicular a la costa, de manera que su dirección depende de la orientación de la línea litoral. No obstante, la brisa se mueve acoplada al terreno, razón por la cual puede adoptar direcciones distintas en función de la orografía y la misma morfología litoral. Su recorrido se ve afectado, además, por condicionantes físicos de más largo alcance como la aceleración aparente del viento conocida con el nombre de fuerza de Coriolis, que produce una rotación horaria del viento, y que se traduce en un giro hacia la derecha en el Hemisferio Norte a lo largo del ciclo diurno (Redaño *et al.*, 1991; Chang, 1997). En áreas del interior, las corrientes marítimas de la brisa se hacen verticales, estableciéndose a cierta altura un viento de retorno hacia el mar –la contrabrisa–, configurando el conjunto una circulación cerrada de aire. Es por estos motivos por los que la brisa puede definirse como un viento totalmente estable generado y mantenido por un sistema totalmente inestable. Esto es así porque el calentamiento diurno de las superficies con menor capacidad térmica que el agua genera columnas ascendentes de aire en cuya base la presión es baja –una inestabilidad–.

Ya que la causa del fenómeno es el calentamiento y enfriamiento desigual de dos áreas vecinas, marina y terrestre, las brisas surgen en buena parte de los lugares de la Tierra en los que hay una frontera tierra-mar. Sin embargo, su alcance espacial no se reduce a la zona de contacto y de transición entre ambos medios, es decir al litoral. Simpson *et al.* (1977) consignan una distancia de propagación continental de 100 km desde la costa sur de Inglaterra, mientras que, en el levante peninsular español, Azorín (2007) ha comprobado instrumentalmente el alcance de las brisas marinas en observatorios situados a más de 200 km de la costa, siendo el intervalo más frecuente el de los 100-125 km.

Estos sucesos son los que hacen que se pueda atribuir al fenómeno de las brisas, por una parte, una influencia directa en el estado de la atmósfera de ciertas regiones no estrictamente litorales, cosa que redundaría en su clima local. No en vano, el viento actúa como un vehículo de desplazamiento de grandes masas de aire marítimas hacia el interior, de manera que en los registros meteorológicos de ciertos observatorios situados en áreas relativamente alejadas de la costa, se advierte que las propiedades del aire responden a un contacto previo con el mar. Así, el avance de la masa de aire marítimo se produce en una forma que recuerda a un frente frío, y se caracteriza por un repentino sople de viento, un

descenso de la temperatura y un incremento de la humedad relativa. Analizando el ritmo anual del clima sobre la región valenciana y balear, Kunow (1966: 92 y 65) toma los meses de julio y agosto como los típicamente estivales, y comenta que “el aire que traen las brisas marinas se calienta fuertemente en tierra, disminuye por tanto la humedad relativa, la nubosidad y las nieblas”. Por otra parte, las brisas tienen una notable influencia en las actividades humanas de esas mismas regiones, a distintas escalas espaciales, circunstancia que ha sido muy poco explorada.

Otra de las características más importantes del sistema de brisas es que la circulación opera de manera autónoma dentro de una circulación general de la atmósfera a escala sinóptica. Cuando a esta escala el gradiente de presión entre los anticiclones y las borrascas es suficiente para provocar vientos generalizados, la ventilación resultante desorganiza el aire ascendente de las eventuales columnas convectivas, impidiendo o entorpeciendo la formación de una circulación local o regional de brisas. Esto hace que las brisas sólo se establezcan en unas condiciones de débil o nulo gradiente bórico en la escala sinóptica. Además, lo hacen sólo cuando la insolación es suficiente para que la temperatura de la superficie terrestre exceda la de la superficie del mar, y esto pueda activar el sistema –típicamente, la diferencia ha de ser entre 3 y 6 °C–, cosa que en las latitudes medias ocurre principalmente en verano.

En resumen, los factores que influyen en la formación organizada de un sistema de brisas y su comportamiento espacial, tales como el tipo de suelo, la cobertura nubosa, la estabilidad atmosférica, la insolación, la configuración de la línea de costa o la extensión superficial de las masas terrestres, son tan amplios que su explicación pormenorizada excedería el objeto de la presente contribución.

A partir de estas consideraciones, la importancia de las brisas marinas en el clima de muchas regiones de la Tierra ha sido suficientemente valorada. En este sentido, cuando se acometen estudios climatológicos sobre el sistema de brisas de una región, los resultados suelen revelar la influencia determinante de estos vientos en el régimen eólico de las localidades examinadas. Sin embargo, son muy pocos los estudios sobre brisas que no subestiman o destacan su influencia en ciertas actividades económicas y sociales. Esta influencia se pone particularmente de manifiesto en la isla de Mallorca, en el centro del Mediterráneo occidental. Tanto por la dimensión del espacio insular (3.619 km²) como por su posición latitudinal media (39° N), cercana al mundo subtropical y a favor de la predominancia de un tiempo atmosférico anticiclónico, la isla constituye un escenario geográfico idóneo para que se manifieste y opere un sistema de brisas marinas típico durante el ciclo diurno, y de tierra en el nocturno, sobretodo bajo condiciones de bajo o nulo gradiente de presión atmosférica en la escala sinóptica.

2. LA BRISA MARINA EN LA ISLA DE MALLORCA

Desde un punto de vista fisiográfico (Figura 1), Mallorca presenta dos alineaciones montañosas que corren paralelas a los lados noroccidental y suroriental, separados por

cuencas subsidentes que constituyen las bahías de Palma y de Alcúdia. Hay, por tanto, tres grandes unidades o regiones morfológicas principales, que corresponden a tres ‘comarcas’. La primera, la sierra de Tramuntana, cadena montañosa en la parte occidental, de topografía abrupta, de unos 90 km de largo y 15 km de anchura media, con una altura media de unos 800 m, y que alcanza los 1.445 m de altura en el *puig Major*. La segunda, la sierra de *Llevant*, en la parte oriental de la isla y paralela a la costa, que constituye una alineación desigual de montañas con altitudes que no sobrepasan los 563 m de *sa Talaia Freda*, y que totaliza unos 46 km de largo por 10 km de ancho. En tercer lugar y último, una extensa área central –el *Pla*, denominación empleada más por su oposición a los relieves circundantes que para describir una realidad física–, conformada por valles abiertos y relieves pequeños y suaves, y que une las dos grandes bahías situadas al norte y al suroeste del espacio insular.

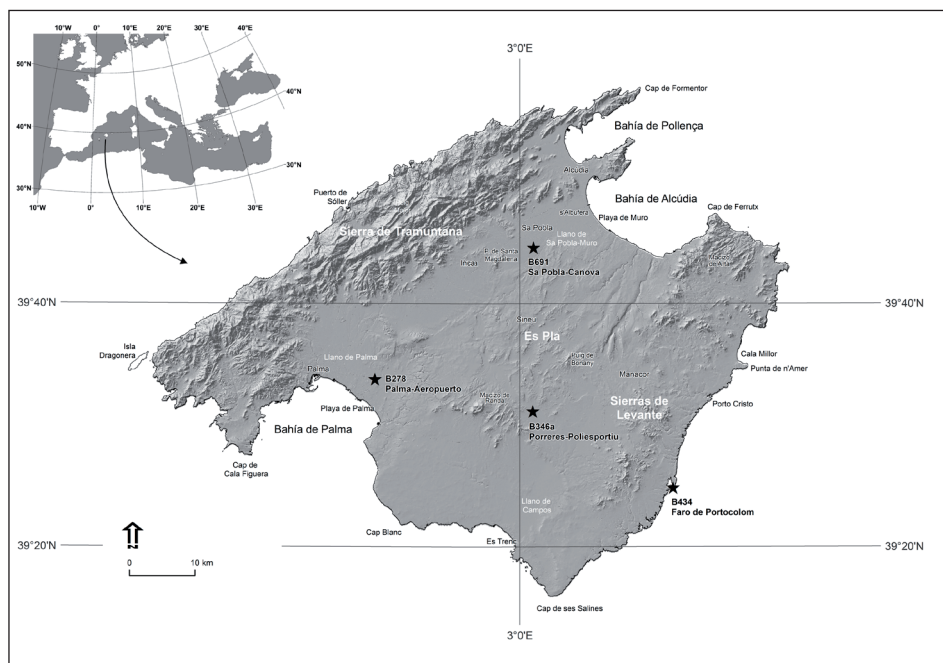


Figura 1. Marco geográfico de la isla de Mallorca (Islas Baleares). Las estaciones meteorológicas de referencia se simbolizan con una estrella. Elaboración propia.

Desde un punto de vista climático, el régimen de brisas tiene una indudable influencia en el régimen anual de vientos de las localidades en las que surge habitualmente. En Mallorca, este régimen se caracteriza por la fluctuación estacional de las frecuencias de las direcciones y la velocidad, que sigue un esquema general según el cual en invierno

el dominio corresponde a la componente oeste, substituida en la época veraniega por la componente este, como resultado del régimen general de levante que afecta al Mediterráneo occidental durante esta época. No obstante, destaca la alta frecuencia con la que aparece la componente norte, relacionada con la ciclogénesis mediterránea, en particular la del mar de Liguria (Jansà Clar, 1980; Ramis y Ballester, 1984). Este esquema general es modificado por el régimen de brisas, ya que el sistema puede presentarse en la isla a lo largo de todo el año, fundamentalmente en la época cálida y más irregularmente en la época fría. Esto es especialmente válido en las localizaciones costeras, porque una de las más importantes peculiaridades de estas áreas es precisamente la existencia de regímenes de brisas muy definidos.

Por otro lado, el anticiclón estival enmascara situaciones de tiempo diversas: por una parte, el mismo sistema de brisas; por otra, un enfriamiento nocturno –por irradiación térmica– en áreas interiores de la isla, y la posterior circulación catabática de aire hacia zonas costeras periféricas. En este sentido, las brisas diurnas son centrípetas –confluyen hacia el interior de la isla desde diferentes emplazamientos costeros–, mientras que las nocturnas son centrífugas –divergen desde el interior hacia las periferias litorales–. Así, las brisas insulares se definen aquí por su comportamiento espacial pluridireccional y su carácter unitario, y por la autonomía de los vientos locales respecto del dominio sinóptico o regional, principalmente en los meses de verano. Como consecuencia de la insularidad física del terreno, las brisas marinas tienen una orientación múltiple y normalmente opuesta, de manera que operan simultáneamente desde las diferentes costas y penetran tierra adentro, acopladas al terreno, hacia áreas del interior, en las que convergen típicamente.

2.1. El estudio de las brisas marinas de Mallorca

La efectividad de las brisas marinas de Mallorca permite una fácil constatación común. De hecho, el sistema de brisas no pasó desapercibido a viajeros, narradores o estudiosos del siglo XIX. La primera referencia de carácter científico y descriptivo sobre la brisa mallorquina es probablemente la de la *Topografía físico-médica de las Islas Baleares y en particular de la de Mallorca*, del médico militar Fernando Weyler (1854: 55), que explica:

“... en esta estación [verano] es en la que se puede señalar cierta periodicidad, si se atiende á la regularidad con que se presentan las brisas y terrales. La virazón diaria ó ‘embate’ como aquí se denomina, muy sensible en tiempos calorosos, viene del mar y se entabla de nueve á diez de la mañana, presidida [sic] de una ligera neblina (...) Las brisas no son constantes, faltan algunos días y acaban siempre al ponerse el sol, produciendo una calma que dura hasta las nueve o diez de la noche, en que se presentan los terrales, vientecillos frescos, que vienen del centro de la tierra y se dirigen á todas sus costas y mueren al amanecer, dando lugar a otra callada que dura hasta la vuelta de las brisas. Las brisas del verano soplan en distintas direcciones, y se amortiguan cuando se presentan vientos fuertes”.

Unos pocos años después de esta acertada constatación decimonónica, la significación meteorológica de las brisas tampoco pasó inadvertida, en el último tercio del XIX, al archiduque Luis Salvador de Habsburgo-Lorena de Austria (Archiduque Luis Salvador, 1963), que escribe:

“Hacia las diez de la mañana, todos los días, o casi, se levanta una brisa marina, llamada ‘embat’, muy agradable, que suaviza el calor; dura todo el día y se extingue al ponerse el sol. Las ardientes noches del sur también refrescan en Mallorca; hacia las diez de la noche se levanta, de la parte de tierra, un airecillo fresco que rebaja la temperatura del día y dura hasta el alba. Esta brisa se llama ‘terral’. (...) Durante esta época [verano] se observa cierta periodicidad en la brisa marina, llamada ‘embat’, y en los suaves vientos de tierra, que se llaman ‘terral’. Sin embargo, dichos vientos no son constantes y en muchos días hay calma muerta. El ‘embat’ es una brisa fresca en las proximidades de la costa, pero en el interior de la isla es más caliente y débil”.

A la constatación común de la brisa en Mallorca se une su subsiguiente verificación científica. El principal precursor del estudio del régimen de brisas de Mallorca es el trabajo de los meteorólogos J.M. Jansà y E. Jaume, titulado *El régimen de brisas en la isla de Mallorca*, y publicado en el año 1946 en la *Revista de Geofísica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Antes de esta publicación, el conocimiento de la brisa marina de Mallorca era muy sumario. En este trabajo, la caracterización y modelización de la dinámica del sistema de brisas es de tipo cualitativo y se basa en las conclusiones que se derivan de una campaña de encuestas a campesinos y pescadores de la isla, destinadas a deducir el comportamiento espacial de la brisa en el espacio insular a partir de las informaciones orales recogidas entre aquéllos. El mapa de la Figura 2 presenta una reelaboración, sobre un Modelo Digital de Elevaciones, del mapa que realizaron Jansà y Jaume (1946) para dibujar las líneas de corriente de la brisa marina de Mallorca, y las zonas de convergencia de las mismas. Como se ve, el esquema general del comportamiento espacial de la brisa diurna considera la isla un espacio dentro del que penetran y confluyen los flujos marítimos desde distintas procedencias litorales, principalmente las de la bahía de Palma por el suroeste, las bahías de Alcúdia y Pollença por el noreste, y el levante de la isla por el este, siguiendo el esquema ya mencionado de la perpendicularidad a las costas. El lado costero de poniente –el que constituye la alineación montañosa de la sierra de Tramuntana–, está afectado muy débilmente por la brisa a causa del efecto amortiguador, de barrera, que imponen las pantallas montañosas.

Así, el aire marítimo penetra tierra adentro desde diferentes y opuestas procedencias costeras –es decir radialmente–, principalmente las de las dos grandes bahías de Palma y Alcúdia, al sur y al norte de la isla respectivamente. Las corrientes marítimas se reorientan después, subordinadas a la hipsometría del terreno, y por tanto a la disposición de los relieves. De hecho, destaca el despliegue ‘en abanico’ de esas corrientes cuando encuentran sus vías naturales de penetración hacia el interior, que no son otras que las calas profundas y las desembocaduras de los valles. Esto significa que la corriente inferior

de la brisa, en palabras de Jansà y Jaume (1946) “se arrastra completamente pegada al suelo y está sometida a la servidumbre del relieve incluso por debajo de los 50 metros”. Según estos autores, el alcance horizontal de la brisa en el interior de la isla es de unas pocas decenas de kilómetros –teniendo en cuenta que en Mallorca la máxima distancia a la costa corresponde a un punto situado a 24,14 km–, suficientes, en cualquier caso, para que el teórico frente de brisa empuje hasta alcanzar ciertas áreas preferentes del interior, que constituyen zonas o ‘nidos’ de convergencia con interesantes repercusiones meteorológicas locales, principalmente de carácter pluviométrico.

Con posterioridad a este trabajo fundamental, en un comentario a propósito de los vientos locales de Mallorca, García Pedraza (1980: 45) certifica de la siguiente manera la singular importancia del sistema de brisas como mecanismo de disparo de tormentas convectivas, además de la autonomía del sistema respecto del marco sinóptico:

“La orografía y los contrastes térmicos alteran los vientos y provocan máximos y mínimos de carácter local. Las brisas son verdaderos ‘relojes de viento’ en la isla de Mallorca, siendo reforzadas en verano por el caldeo diurno de los suelos que las hacen entrar más hacia el interior. Cuando la absorción de las brisas húmedas es grande y marcada la inestabilidad, se fuerza un acusado ‘tiro vertical’ y las tormentas se engendran y refuerzan a base de aire húmedo que aportan las brisas. Si llega una borrasca a la región, el viento asociado a la perturbación ‘mata’ la individualidad de las brisas, que quedan así enmascaradas o anuladas. En general, la velocidad de las brisas es moderada, pero lo compensa su persistencia y regularidad”.

Por su parte, en el año 1982, Gayà publica un resumen estadístico comentado del viento en Palma, *Climatología de Baleares. Viento en Palma*, con importantes y obligadas referencias al régimen de brisas. En él, el autor presenta un cuadro de frecuencias a partir de observaciones realizadas en el observatorio del Centro Meteorológico durante un periodo de 10 años (1970-1979), de acuerdo con el cual el viento dominante durante la noche es NNE –brisa de tierra–, y SSO durante el día –brisa de mar–. Sobre las brisas de mar, dice Gayà (1982: 1) que “corresponden a situaciones quasi-estacionarias y, por tanto, las intensidades del viento quedan comprendidas en su mayor parte entre 1 y 5 m/s, y raras veces sobrepasan los 15 m/s. Desde que comienza hasta su fin, que puede ser por encalmada o porque ha cambiado a otro rumbo, se contabiliza como una sola vez, aunque dure varios días”.

Más tarde, Font Tullot (1983: 323) dedica un capítulo de la completa obra *Climatología de España y Portugal* al clima de las Baleares, que incluye un subcapítulo específicamente dedicado a la brisa marina de Mallorca, de la que comienza por considerar “el aspecto más sobresaliente de su régimen de vientos durante los meses de abril a noviembre, sobre todo en los estivales, cuando la brisa se establece todos los días”. Este autor menciona el aumento de la oscilación térmica diurna hacia el interior de la isla, por efecto de la continentalidad –más acusada en verano que en invierno–, pero advierte la manera como las isoterma presentan un aspecto destacadamente curvado hacia la zona

central, precisamente por la influencia de las brisas marinas, que hacen que allí la oscilación disminuya.

En cualquier caso, el trabajo de Jansà y Jaume (1946) no sólo constituye la investigación inaugural que describe los rasgos físicos y espaciales fundamentales del sistema de brisas de Mallorca, sino que todos los trabajos posteriores se remiten a él, y no son sino ensayos que vienen a confirmar, completar o refutar –en este caso, muy parcialmente– los resultados descritos en el mencionado trabajo. Así, la circulación de brisas en Mallorca ha sido validada por simulaciones numéricas como las ensayadas por Alonso *et al.* (1983), Ramis *et al.* (1990) o Ramis y Romero (1995), mientras que otros autores la han caracterizado, y han destacado su contribución a la generación de tormentas estivales (González *et al.*, 1988; González y Heredia, 2001; Guijarro y Heredia, 2004; Alomar Garau y Grimalt, 2006 y 2009).

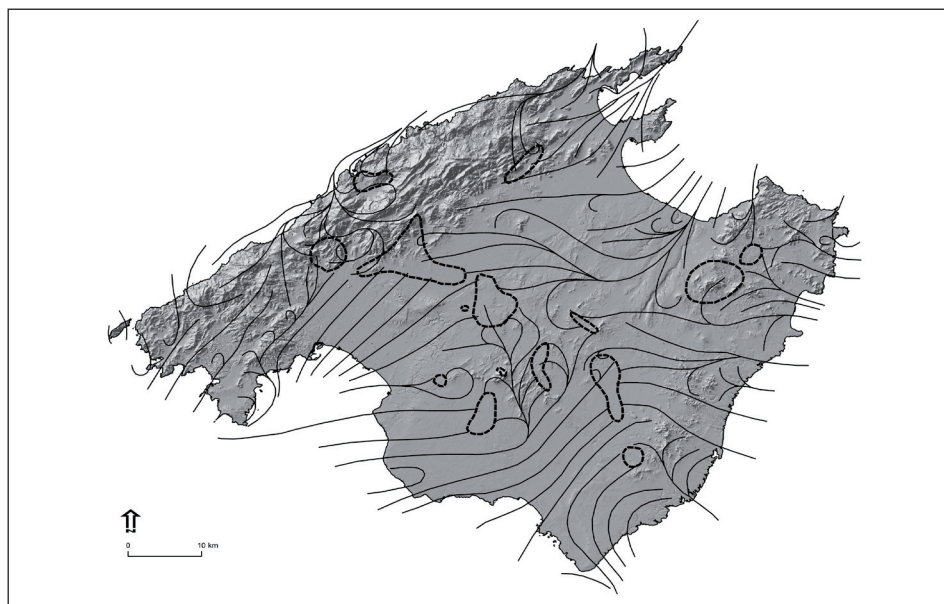


Figura 2. Líneas de corriente de la brisa marina en Mallorca y zonas de convergencia (líneas discontinuas cerradas), sobre un Modelo Digital de Elevaciones. Reelaboración propia a partir de la *Carta I Líneas de corriente* y la *Carta II Zonas de convergencia* (Jansà y Jaume, 1946).

2.2. Características climáticas de las brisas de Mallorca

La presencia más o menos regular y persistente de episodios de brisa determina y modifica el esquema general del régimen anual de vientos de Mallorca, y hace que el régimen eólico de cada localidad adquiera unas características propias, cosa especialmente válida en las localizaciones costeras. Un análisis estadístico realizado para el periodo 1993-2003 (Alomar Garau, 2012), con datos instrumentales de viento proporcionadas por

la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), y procedentes de tres estaciones litorales o prelitorales geográficamente separadas (Palma-Aeropuerto, Sa Pobla-Canova y Faro de Portocolom), más una estación ‘continental’ (Porreres-Poliesportiu), constata unos valores medios elevados de jornadas con brisa en los tres primeros observatorios, más frecuentes en la bahía de Palma que en la de Alcúdia y en la costa de levante, mientras que en la localidad interior de Porreres se advierte su influencia.

A partir de unos criterios específicos de selección manual de episodios de brisa marina –cambio de la dirección del viento entre la noche y el día, seguido de un aumento de la velocidad del viento en las horas centrales del día–, la distribución de las jornadas con brisa entre las localizaciones estudiadas presenta ciertas disimilitudes: Palma-Aeropuerto, Sa Pobla-Canova y Faro de Portocolom tienen un número de episodios que representan respectivamente el 45,2%, 37,2% y 38,2% de los días examinados de cada estación. Las velocidades medias del viento en situaciones de brisa se sitúan por lo común, en época estival y a mediodía, en el intervalo de los 20-28 km/h en la bahía de Palma, mientras que en la de Alcúdia se sitúan en el intervalo de los 12-19 km/h. A resolución estacional, los episodios de brisa aumentan a partir de primavera y durante los meses de verano, en los que la isla muestra una dinámica de la baja troposfera dominada por brisas. Éstas no son un fenómeno exclusivo –pero sí preferente– de las estaciones de primavera y verano, de manera que el máximo de episodios se sitúa en julio, y el mínimo en diciembre.

En el mapa de la Figura 3 se ilustran las rosas de viento de las cuatro estaciones meteorológicas de referencia, referidas al viento anual a mediodía –1300 UTC–. El mapa permite comprobar dos hechos principales: por un lado, la complejidad del régimen aerológico de la isla de Mallorca, y por otro, la influencia de las brisas marinas en el régimen anual de vientos de cada emplazamiento, que adquiere así características propias en función de su localización geográfica, su orientación topográfica y orográfica, y la disposición de la línea costera. Es por ello que las rosas de viento, analizadas conjuntamente, muestran la separación existente entre los regímenes eólicos que rigen los lados oriental, septentrional y meridional de Mallorca, consustancial a la insularidad física del territorio. Así, las localizaciones litorales o prelitorales tienen regímenes diurnos de viento de carácter antitético, de manera que, en un escenario de brisas, en la bahía de Palma (B278 Palma-Aeropuerto) se verifica instrumentalmente el predominio de la frecuencia del SO durante la mañana y parte de la tarde, mientras que en la bahía opuesta de Alcúdia (B691 Sa Pobla-Canova) la circulación es prioritariamente del NE, y secundariamente del E. La costa de *Llevant* (B434 Faro de Portocolom) tiene un régimen aéreo costero más complejo, y la brisa marina se desarrolla allí sobre un abanico más amplio de rumbos, alrededor del primer y el segundo cuadrantes, con una tendencia a la bimodalidad S y NE. Por su parte, el régimen eólico de la localidad interior de Porreres (B346a Porreres-Poliesportiu) aparece influido por los regímenes de brisas del sur y del este de la isla, con una componente marítima dominante a mediodía –pero de sectores variables, preferentemente SSO y ENE–.

Por otra parte, en los observatorios examinados se detecta una poco definida rotación horaria del viento, que puede deberse al resultado de la aceleración que impone la

fuerza de Coriolis. La oscilación horaria –anticiclónica– es más evidente en el sector meridional del *Llevant* de Mallorca –Faro de Portocolom–, donde se aprecia un trasvase del sector E a primeras horas de la mañana, al sector S por la tarde. En la bahía de Alcúdia, el giro, si se produce, puede ser en sentido contrario –ciclónico–, habitualmente desde el sector E a los sectores ENE o NE en las horas centrales del día.

Adicionalmente, los datos de dirección del viento de las estaciones agroclimáticas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), del anterior Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, sirven para la confección de nuevas rosas de viento como las que se ilustran en el mapa de la Figura 4, y completar la comprensión de la mencionada complejidad aerológica. La red de estaciones del SIAR está pensada para la captura, el registro y la transmisión de datos necesarios para el cálculo de la demanda hídrica de las zonas de regadío, referidas a la temperatura y humedad del aire, la radiación solar, la precipitación, la velocidad del viento y su dirección. Estas rosas de viento se refieren a las frecuencias medias de la dirección diaria del viento de ocho estaciones de Mallorca, aunque el alcance temporal de las series de datos es diferente en cada estación, con un mínimo de 1.881 días útiles en el caso de la estación de Calvià, y un máximo de 2.475 días en el caso de la estación de Son Ferriol. En todas estas rosas se observa un marcado ciclo diurno del viento, y muchas de ellas (Son Ferriol, Inca, Sa Pobla, Manacor, Felanitx) presentan una simetría axial, con un eje en general suroeste-noreste, que puede interpretarse como un producto de los efectos de la alternancia día/noche que concurre en un típico régimen de brisas costeras tierra-mar y mar-tierra, como se señala en el estudio de la dinámica atmosférica del Alacantí occidental, en el litoral levantino de la península ibérica, realizado en el *Plan de mejora de la calidad del aire* de esta región. En cambio, las rosas de viento de las estaciones occidentales de Calvià y Sóller son unidireccionales, sugiriendo una respuesta a los efectos de una orientación topográfica muy definida.

Por otra parte, las brisas diurnas generadas en las costas operan con un cierto grado de simultaneidad (Alomar Garau y Grimalt, 2008), de manera que los episodios de brisa que surgen en las tres distintas áreas litorales o prelitorales mencionadas coexisten espacialmente, aunque no siempre lo hagan con el mismo grado de simultaneidad. Esto hace que el carácter centrípeto de las brisas diurnas ocasione, como se ha dicho, convergencias en ciertas áreas del interior de Mallorca (Figura 2), hecho que sirve de detonante de la convección en esas áreas, bajo situaciones de inestabilidad atmosférica, y la consiguiente formación de nubosidad y de precipitaciones de carácter local. Así, una parte significativa de las jornadas de verano con precipitaciones puede atribuirse a la confluencia de brisas marinas, tal como lo señalan, entre otros, González y Heredia (2001), Alomar Garau y Grimalt (2006) o Azorín-Molina *et al.* (2007). En general, puede hablarse de dos modelos principales de distribución espacial de las precipitaciones estivales: uno que dibuja una franja transversal orientada de sudeste a noroeste de la isla, y que se relaciona estrictamente con la teórica línea principal de convergencia de brisas descrita por los citados Jan-sà y Jaume (1946), y otro modelo, más variable, según el cual la precipitación se focaliza en algún punto central de la isla, cercano a esa franja. La distribución de las descargas

eléctricas nube-tierra –rayos– también sigue esta pauta espacial de microcontinentalidad (Guijarro y Heredia, 2004; Alomar Garau y Grimalt, 2009).

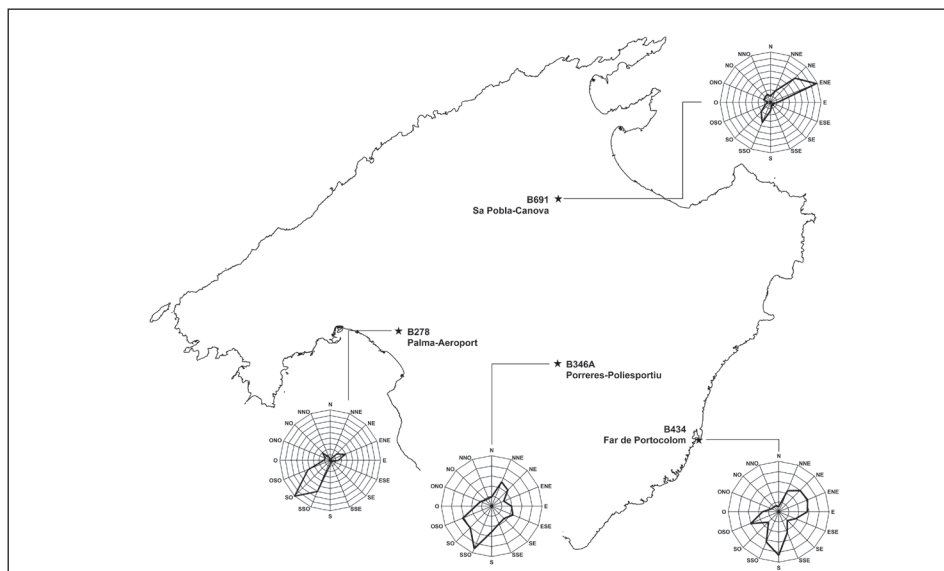


Figura 3. Rosas de frecuencias direccionales del viento anual a las 1300 UTC (1993-2003) de cuatro estaciones meteorológicas de Mallorca. Elaboración propia.

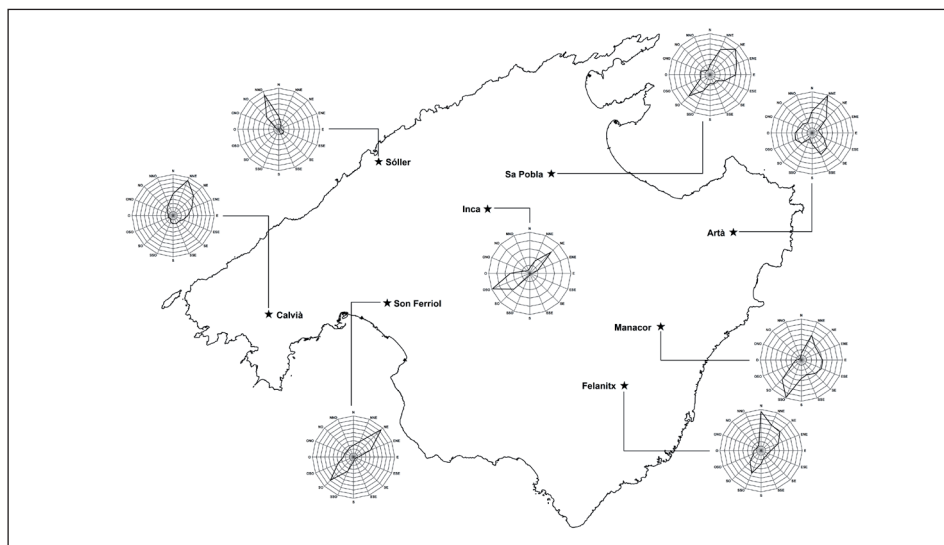


Figura 4. Rosas de frecuencias direccionales del viento medio de las estaciones agroclimáticas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR). Elaboración propia. La recopilación y tratamiento de datos es cortesía de Juan Llop Garau.

3. SIGNIFICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA BRISA MARINA

En los lugares en los que aparecen las brisas marinas, un conocimiento más amplio del fenómeno revela una notable influencia de índole ambiental –meteorológica, climática, agroclimática, biológica o geomorfológica–, pero también social y económica, aspectos que han sido poco estudiados. En muchos de esos lugares, estas determinaciones de las brisas son de tal magnitud, que el fenómeno se manifiesta en el idioma y en el dialecto, a través de la fijación popular de un nombre propio que lo describe. En los territorios de habla catalana, la brisa marina toma los nombres locales de *marinada* (Cataluña), *embatà del migdia* (Valencia) o *embat* (Mallorca), que representan, desde un punto de vista onomástico, casos ejemplares de eolionimia. Así, cuando en un territorio se nombra a la brisa de una forma distintiva, significa que el fenómeno tiene allí una notable importancia, tanto en términos de frecuencia como de regularidad, que se traduce en una organización específica del espacio y de ciertas actividades humanas, razón por la cual es oportuno realizar aquí una síntesis sucinta de la significación geográfica de la brisa.

3.1. Significación ambiental

Desde un punto de vista bioclimático y agroclimático, es bien conocido que el viento es un factor determinante en multitud de procesos naturales. Desde esta perspectiva, comenta Hernández (1990) que de los 9 a los 12 km/h la acción del viento sobre los seres vivos no es desfavorable, pero a partir de ese rango se multiplican sus efectos mecánicos y fisiológicos. Hasta los 20 km/h, origina problemas de carácter fisiológico, como la aceleración de la evapotranspiración y la consiguiente resecaación de las plantas. Es cuando supera los 30 km/h que los efectos fisiológicos del viento se combinan con los mecánicos, cosa que suele ocasionar daños. Además, la capacidad evaporante de la brisa actúa en los espacios costeros en los que se habilitan salinas, cooperando con la prolongada insolación para acelerar la obligatoria evaporación del agua marina. Esta circunstancia la detecta Matvejević (1991: 73) cuando afirma que en las salinas del Mediterráneo “la energía proviene del sol, secundada por el viento, y la materia prima es el propio mar. Se dice de los salineros que son marineros y labriegos a la vez. Vigilan el tiempo y les preocupa el viento marino”. Por otra parte, el viento interviene en la distribución y transporte de aves y de especies de insectos voladores, y cuando adopta los rasgos de una brisa típica, permite la renovación del aire y facilita la transpiración de las plantas. El viento también transporta semillas a grandes distancias, de aquellas especies de distribución anemocora, y dispersa esporas y el polen de las especies vegetales anemófilas (polinizadas por el viento, para diferenciarlas de las especies entomófilas, polinizadas por insectos), para las cuales el agente de polinización es precisamente la aerología.

Las brisas tienen también consecuencias meteorológicas de primer orden. De entrada, la cabecera de los frentes de brisa, desde el momento en el que el flujo de aire marítimo remonta la línea de costa y entra en tierra firme, incorpora a la atmósfera inmediatamente cercana a la superficie terrestre algunas de las propiedades del aire marítimo, produciendo

variaciones de temperatura y humedad. En el caso de la temperatura, es conocido el efecto moderador que tienen las brisas de mar sobre los valores termométricos máximos que se registran en las estaciones meteorológicas litorales. De acuerdo con esto, si la insolación solar tiene un efecto euforizante e incita al optimismo, se entiende que la brisa proporciona un confort climático –agregado al que ya brinda el clima mediterráneo– que explica el desarrollo turístico de muchas áreas del litoral balear y mediterráneo en general (Martínez Ibarra, 2006). Por su parte, Pérez Cueva *et al.* (2006) se han referido al viento como un factor determinante en la medida del confort térmico de las ciudades, mientras que, en esta misma línea, ciertas intervenciones urbanísticas en ciudades costeras reproducen los argumentos higienistas de finales del siglo XIX para trazar las calles de forma perpendicular a la línea de costa, y permitir así la circulación salútfera de la brisa marina.

Otra de las determinaciones geográficas de las brisas marinas –tal vez la más importante desde un punto de vista meteorológico– es la que se refiere a su intervención en la formación de nubosidad con capacidad de producir episodios locales de precipitación convectiva. La convección de aire tiene lugar típicamente sobre ciertas áreas más o menos continentales de las regiones afectadas, y está favorecida no sólo por la presencia de un frente de brisa activo, sino también por la confluencia, en estas áreas, de flujos de aire marítimo de diferentes procedencias costeras, atribuibles al fenómeno de las brisas, como ocurre en el caso ya descrito de Mallorca. En el ámbito de la península ibérica, son numerosos los estudios referidos a esta cuestión (Alcover y Tamayo, 1994; Olcina Cantos y Miró, 1998; Millán *et al.*, 2005; Azorín, 2007, entre otros). Así, Olcina Cantos y Miró (1998) y Azorín (2007) demuestran la influencia de las circulaciones estivales de brisa en el desarrollo de tormentas convectivas en Alicante, mientras que Millán *et al.* (2005) estudian la mesometeorología de la precipitación en la Comunidad Valenciana, y la desagregan por tipologías sinópticas, estableciendo tres tipos de ‘sinopsis’ que intervienen en la génesis de las tormentas: los sistemas frontales atlánticos, las precipitaciones por frente de retroceso o ‘levantes’, y las tormentas convectivas de verano, que se asocian al estadio final de desarrollo del ciclo de brisas.

En esta misma línea, Alomar Garau y Grimalt (2006 y 2009) han estudiado una contribución igualmente principal de las brisas en la determinación de patrones de precipitación de verano en Mallorca, demostrando el importante papel de la confluencia de las corrientes de aire marítimo sobre ciertas áreas del interior de la isla, como mecanismo que dispara la convección y favorece la precipitación en situaciones de inestabilidad atmosférica durante el verano. También Guijarro y Heredia (2004) han identificado un aumento en esta misma época de la frecuencia del nombre medio de rayos en zonas del interior de Mallorca, con un gradiente que va de noroeste a sureste, con un máximo relativamente marcado en el centro del solar insular, precisamente allí donde tiene lugar, típicamente, la mencionada confluencia de brisas.

Por otro lado, las brisas colaboran activamente en el transporte de los contaminantes atmosféricos. La dinámica de los aerosoles atmosféricos –el transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos–, y en definitiva la evolución de su concentración,

son ejemplos de las afectaciones químicas de las brisas, como corroboran Millán *et al.* (1997) en un estudio que caracteriza la dinámica de esos contaminantes en la cuenca del Mediterráneo. Los efectos de la brisa como factor tanto de renovación ambiental y de la calidad del aire como de transporte y distribución de contaminantes, han sido estudiados ampliamente para llegar a una conclusión fehaciente: las brisas dispersan y transportan los contaminantes emitidos dentro de la capa de la atmósfera en la que se forma esta circulación, pero no la limpian necesariamente. Al contrario, la brisa marina origina una pequeña inversión de subsidencia en las áreas costeras, que puede ocasionar la fumigación de los contaminantes una vez que han quedado atrapados dentro de la capa rematada por la inversión (Lalas *et al.*, 1983).

En invierno, las no poco frecuentes situaciones de estabilidad atmosférica anticiclónica en la región occidental del Mediterráneo inducen el estancamiento de las masas de aire y los consiguientes episodios de contaminación regional o urbana. Además, se produce dentro de la Capa Fronteriza Atmosférica una vigorosa mezcla del aire que favorece las reacciones químicas de los contaminantes, creando nuevos compuestos químicos que se traducen en nuevos contaminantes, a pesar de que en los casos de una brisa intensa y bien establecida, el efecto descrito queda claramente atenuado. En todo caso, las circulaciones de brisa activan procesos de recirculación de los contaminantes. Si la insolación es elevada, la contaminación puede ser de origen fotoquímico, y es entonces cuando toman importancia los registros de ozono (Millán, 2002; Azorín *et al.*, 2008). En este sentido, si las actividades antropogénicas han hecho aumentar las concentraciones de ozono troposférico a niveles bajos, el comportamiento aéreo de este gas depende de la dinámica atmosférica en el lugar, y por tanto de la influencia de una eventual circulación de brisas costeras establecida en las localizaciones en las que se genera el gas.

En un régimen de brisas tierra-mar y mar-tierra, Quereda y Montón (1996) han hecho notar la relación existente entre altas concentraciones regionales de dióxido de carbono (CO_2) y la dirección del viento en el lugar, de manera que se observan valores altos de CO_2 , en coincidencia con el establecimiento de vientos nocturnos de tierra, mientras que valores bajos de CO_2 se dan durante el ciclo diurno, coincidiendo con el desarrollo de la brisa marina. Por su parte, Redaño y Lorente (1984) han estudiado la influencia de la brisa de mar y los vientos catabáticos locales en la turbidez u opacidad atmosférica, y señalan que la brisa contribuye a una moderada limpieza del aire urbano hasta la noche. En Mallorca, Romero y Ramis (1996) han simulado numéricamente la evolución de una eventual emisión de contaminantes atmosféricos producida al norte de la isla, fundamentándose en el comportamiento horario de la brisa marina, y señalando que la línea de confluencia de los flujos marítimos formada típicamente en la parte central del territorio insular, limita la expansión de los contaminantes hacia el sur, y desvía su transporte hacia la sierra de Tramuntana, que actúa bloqueando los contaminantes.

En relación con el fenómeno de la isla de calor urbana –*Urban Heat Island*, definida como el exceso de calor generado en un ecosistema urbano por efecto de la acción antrópica, indicando que las ciudades son en general más cálidas que su periferia (Moreno,

1993 y 1998)–, las brisas marinas se revelan favorables a la mitigación de los efectos térmicos que comportan los ecosistemas urbanos en relación a su entorno rural, ya que la isla de calor no se detecta cuando el viento supera cierto valor crítico (Pérez Cueva, 1992; Pérez Cueva y Alastrué, 1994). Por otra parte, las diferencias de temperatura entre las áreas urbanas y las rurales crean diferencias locales de presión, capaces de desencadenar el establecimiento de brisas que soplan desde el campo hacia la ciudad, alimentando dentro de ella, en superficie, un tiro convectivo vertical. El origen genético –el calentamiento urbano– de este viento, y no geográfico –la procedencia desde el entorno rural– hace que Moreno (1997) proponga la denominación de ‘brisa urbana’.

Por otra parte, ciertos elementos del medio ambiente insular se revelan para el ojo humano como fuentes indirectas de información de carácter climático, y, en concreto, de carácter eólico. De entrada, los sistemas dunares litorales se pueden interpretar en clave eólica no sólo porque el régimen de vientos es uno de los factores implicados en la dinámica de los sistemas playa-duna –controlando la dinámica subaérea–, sino porque en ellos se constata la dirección predominante del viento en el lugar. Esto es así porque la formación de dunas obedece a los procesos eólicos de erosión –deflación y abrasión–, transporte –desplazamiento de granos individuales o de morfologías dunares ‘migratorias’– y sedimentación de materiales –de granos individuales, o la que afecta a la estabilización de formas estratificadas–. La velocidad crítica que el viento necesita para poner en movimiento el sedimento arenoso es de 4,5 m/s (Servera, 1997), lo que pone de manifiesto la capacidad que tienen las brisas de movilizarlo y, en definitiva, transportarlo.

También la inclinación de los árboles expuestos directamente al régimen de vientos dominante, cargado de aerosoles salinos, constituye un archivo histórico de su dirección en lugares generalmente costeros. Así, el efecto limitante del viento en el crecimiento de la vegetación provoca que las plantas se protejan adoptando estructuras esclerófilas, para evitar que la velocidad de transpiración del vegetal supere la de la absorción de agua por las raíces, cosa que tiene como resultado una acción de modelado en árboles y arbustos, que produce su crecimiento en unas determinadas direcciones.

3.2. Significación socioeconómica y territorial

Desde un punto de vista social, no es menos interesante el caso de los aprovechamientos deportivos y de ocio de la brisa marina, que condiciona la presencia y la práctica de deportes como el surf, el windsurf y el kitesurf en ciertas localizaciones costeras, llamadas *spots* en la terminología especializada (Alomar Garau, 2005). En el caso del surf, cuya práctica depende del mar de fondo reinante, la brisa se considera un mar de viento de periodo corto y poca energía, que ‘ensucia’ el mar de fondo y elimina su efectividad para generar oleaje costero. Por otra parte, el forzamiento vertical del aire que producen los frentes de brisa y las ascendencias orográficas de aire es aprovechado también para la práctica del parapente, que sigue las mismas reglas de vuelo que utilizan determinadas aves planeadoras, y que evidencian la existencia de una burbuja térmica de aire elevándose

desde tierra. Prácticas deportivas como estas, incluida la vela ligera y la navegación costera de embarcaciones de recreo –a las que se suman las competiciones deportivas oficiales como la Copa del Rey de vela, que utiliza la bahía de Palma como un campo de regatas precisamente por su ‘aptitud’ eólica para la navegación–, tienen una distribución geográfica distintiva que se relaciona directamente y positivamente con la presencia de brisas marinas en determinadas regiones costeras. En ellas, a pesar de que la frecuencia e intensidad de la brisa varía según las zonas, su persistencia en los meses centrales del año proporciona unas excelentes condiciones para la navegación deportiva: vientos benévolos, constantes y de fácil predicción. El buen conocimiento de las características de la brisa en los lugares en los que se hacen regatas de embarcaciones a vela es fundamental tanto en lo que se refiere a la estrategia como a la táctica que conviene adoptar por el experto regatista.

La afectación territorial del sistema de brisas se manifiesta también en el hecho de que, en Mallorca, condiciona no sólo la localización y la orientación de las pistas de aterrizaje aeroportuarias –de manera fundamental, las del aeropuerto de Son Sant Joan, que se orientan en la dirección predominante de la brisa del suroeste en la bahía de Palma–, sino también los cambios horarios de pista que regulan el sistema de despegue y aterrizaje de aeronaves. La longitud de las pistas depende también de las propiedades del aire en las proximidades del suelo. La densidad del aire disminuye a medida que se hace más cálido y húmedo, y también disminuye cuando se aumenta la altura. De esta forma, cuanto menor es la densidad del aire en las pistas, más grande ha de ser la velocidad del avión para despegar y subir, de forma que en los lugares muy calurosos –o en los aeropuertos de lugares elevados por encima de los 1.000 m– se necesitan pistas más largas para que los aviones más grandes puedan alcanzar la velocidad necesaria para despegar.

Por su parte, los molinos de viento harineros y de extracción de agua devienen enormes anemómetros circunstanciales, a pesar de que la información aerológica que proporcionan, efímera y transitoria, no queda registrada de manera automática sobre ningún soporte físico, excepto el de la memoria del observador humano. Esto da pie a afirmar que el sistema de brisas ha constituido a lo largo de la historia un factor de influencia en las actividades humanas relacionadas con los aprovechamientos energéticos del viento, tanto en la agricultura tradicional como en la moderna industria energética. Así, para los habitantes y los trabajadores del espacio agrícola no mecanizado ni motorizado, en el que las fuerzas energéticas de la naturaleza han determinado históricamente la obtención de agua o la producción de alimentos, el conocimiento de la dinámica atmosférica en el entorno de trabajo ha sido indispensable a la hora de interpretar correctamente y utilitariamente las evidencias empíricas disponibles, y diseñar estrategias productivas o constructivas de actuación. En este sentido, como ha señalado Pita (2003), el clima es neutro, y es el hombre quien, con sus actividades, le otorga una carga valorativa y la condición de factor positivo para el desarrollo humano, o, por el contrario, limitante.

De acuerdo con esta idea, los vientos locales son uno de los factores que explican la localización selectiva de determinadas infraestructuras agrarias en Mallorca y en otras tantas regiones españolas. Hasta la llegada del turismo de masas a mediados del siglo XX,

la conformación del espacio agrario mallorquín ha ido acompañada de la habilitación de campos de cultivo convenientemente parcelados, unida al masivo despliegue territorial de infraestructuras destinadas a la producción de harina y otros productos alimenticios. Las infraestructuras agrarias que han utilizado directamente o indirectamente la energía eólica como fuerza de trabajo son las eras de trilla y los molinos de viento harineros, las primeras para obtener grano cerealístico, y las segundas para molerlo. En los dos casos, su localización geográfica y su emplazamiento topográfico se justifica por la necesidad de maximizar su rendimiento y su rentabilidad, siendo el principal factor de esa localización específica la cantidad y la calidad del recurso eólico disponible en el lugar. No en vano, para mantener las constantes de la producción de cereal, ha hecho falta el acoplamiento y la sincronización de los factores climáticos –agua, temperatura y viento– con la organización humana del trabajo. Es por esto que los hombres que han habitado el medio rural son depositarios de unos conocimientos empíricos del tiempo atmosférico, como de las características geográficas que en cada lugar constituyen unos determinados factores de localización. Por esta razón, el comportamiento espacial de las brisas forma parte todavía del cuerpo de conocimientos climatológicos del viejo campesinado insular.

Desde la más remota antigüedad, la trilla y el aventado de los cereales se realizaba no sólo en los lugares estratégicamente seleccionados para emplazar las eras, sino también aprovechando la coincidencia de la época en la que se hacían estos trabajos con la época en la que la formación de brisas es más probable y regular. Esto no hace sino poner de manifiesto la atención que el antiguo campesinado prestaba a la acción del viento a la hora de localizar y orientar ciertas infraestructuras que hoy sólo tienen un interés etnográfico, así como a la hora de orientar y localizar las unidades de hábitat humano y sus fachadas, aplicando principios bioclimáticos. En definitiva, si el régimen de vientos de Mallorca, y singularmente las brisas marinas, ha condicionado históricamente la organización espacial y temporal de las actividades agrarias tradicionales, y hoy lo hace con ciertas actividades de ocio, el resultado es un paisaje que, por motivos como los expuestos, también puede y debe interpretarse en clave eólica.

4. CONCLUSIONES

La brisa marina es un fenómeno atmosférico ampliamente representado en las áreas del mundo con una frontera tierra-mar. Frente a sus reconocidas repercusiones climáticas y meteorológicas a escala local y regional, las brisas constituyen –y lo hacen de manera inusitada– un interesante objeto de conocimiento por la importancia de su influencia en la organización espacial y temporal de las actividades humanas, aspecto todavía muy poco estudiado. En Mallorca, el sistema de brisas adquiere unas características prototípicas de frecuencia e intensidad. A unos episodios con unos valores medios de ocurrencia elevados, se une la simultaneidad con la que operan estos vientos inducidos térmicamente, generados sincrónicamente en las diferentes y geográficamente opuestas áreas costeras.

Así, la isla aparece, a grandes rasgos, separada por al menos dos regímenes de viento principales –uno septentrional y otro meridional–, cuya frontera de confluencia se sitúa por lo común en la zona central del espacio insular, esquema que se verifica en los modelos numéricos y teórico-experimentales ensayados.

La isla, en definitiva, y en especial en la estación estival, se encuentra singularmente sometida a la influencia de un sistema de brisas cuyo alcance espacial y temporal comprende y condiciona todas las esferas del asentamiento humano: el ámbito ambiental –el sistema de brisas tiene unos efectos bioclimáticos, agroclimáticos, químicos, climáticos y meteorológicos de primer orden–; el ámbito territorial –la brisa ha condicionado históricamente la localización, distribución y diseño de infraestructuras agrarias, arquitectónicas y turísticas, cuya organización espacial puede interpretarse en clave eólica–; el ámbito económico –la brisa ha influido en la actividad agraria y pesquera tradicional, y ahora lo hace en la turística y las actividades de recreo–; y el ámbito cultural –la brisa ha tenido un reflejo en la cultura popular local–. Todo ello suscita la necesidad de observar el fenómeno climático como un elemento cuyas repercusiones trascienden el ámbito atmosférico, para manifestarse en el territorio y conformar un paisaje eólico y energético que merece, desde la disciplina geográfica, nuevas acciones de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcover, V. y Tamayo, J. (1994): “Tempestes”. Pérez, A.J. (coord.): *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana (1961-1990)*, Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports, Generalitat Valenciana, Valencia, pp. 56-57.
- Alomar Garau, G. (2005): “Els noms dels spots de windsurf, kitesurf, surf i bodyboard a Mallorca. Les implicacions de l’embat en una neotoponímia inèdita”. Planisi, H. (coord.): *Jornades d’Antroponímia i Toponímia (2003-2004)*. Palma: Universitat de les Illes Balears. 379 pp. (Jornades, 2).
- Alomar Garau, G. y Grimalt Gelabert, M. (2006): “Precipitaciones de verano y régimen de brisas en Mallorca”. Cuadrat, J.M. et al. (eds.): *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, Zaragoza.
- Alomar Garau, G. y Grimalt Gelabert, M. (2008): “Un modelo de simultaneidad de brisas marinas en Mallorca”. Sigró, J.; Brunet, M. i Aguilar, E. (eds.): *Cambio climático regional y sus impactos*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, Tarragona.
- Alomar Garau, G. y Grimalt Gelabert, M. (2009): “Tormentas y precipitaciones estivales en Mallorca. Microcontinentalidad y brisas marinas”. Pillet, F.; Cañizares, M^a.C.; Rúa, A.R. (2009): *Geografía, territorio y paisaje: el estado de la cuestión*. Actas del XXI Congreso de Geógrafos Españoles, Ciudad Real.
- Alomar Garau, G. (2012): *Geografia de la brisa marina a Mallorca. Anàlisi espacial de la seva influència en les precipitacions d’estiu i la seva participació com a factor de localització*. Tesis Doctoral inédita. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- Alonso Oroza, S.; Jansà Clar, A.; Ramis Noguera, C. (1983): “Una simulació numérica de la brisa en la Isla de Mallorca”. *VI Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*.
- Archiduque Luis Salvador (1963): *Mallorca. Parte General. Parte de la obra ‘Las Baleares descritas por la palabra y el grabado’*. Imprenta Mossèn Alcover. Traducción de Josep Sureda Blanes. Palma.
- Azorín, C.; Castell, N.; Mantilla, E.; Millán, M. (2008). “Estudio de la relación entre la persistencia de las brisas marinas y los niveles de concentración de ozono en un punto del litoral de Alicante”. Sigró, J.; Brunet, M.; Aguilar, E., eds.: *Cambio climático regional y sus impactos*: 725-736. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A, n^o 6.
- Azorín-Molina, C. (2007): *A climatological study of sea breezes in Alicante. Sea breeze fronts over the Iberian Mediterranean area and the Isle of Mallorca*. PhD Thesis, University Institute of Geography, University of Alicante, Alicante, Spain, 288 pp.
- Azorín-Molina, C.; Guijarro, J.A.; Baena-Calatrava, R.; Jansà, A. (2007): “Sea breeze convergence and convective cloud frequencies from AVHRR data over the isle of Mallorca”. *7th EMS Annual Meeting/8th European Conference on Applications of Meteorology*. San Lorenzo de El Escorial, Spain, 01-05 October 2007.

- Chang, W.L. (1997): *Tropical coastal winds*. Report 37, *World Meteorological Organization*/TD-N° 840, Geneva, Switzerland.
- Font Tullot, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- García Pedraza, L. (1980): “Agrometeorología balear”. *XI Jornadas Científicas. I Congreso de Meteorología Mediterránea*. Menorca-Mallorca. Asociación Meteorológica Española.
- Gayà Obrador, C. (1982): *Climatología de Baleares. Viento en Palma*. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. Instituto Nacional de Meteorología, 16. Palma.
- González, J.; Guijarro, J.A.; Jansà A. (1998): “Caracterización de la brisa en Mallorca”. *I Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. IX Asamblea española de Geodesia y Geofísica*. Aguadulce (Almería).
- González, J. y Heredia, M.A. (2001): “Convección por brisa en Mallorca”. *V Simposio Nacional de Predicción*. Instituto Nacional de Meteorología.
- Guijarro, J.A. y Heredia, M.A. (2004): “Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares”. *Revista de Climatología*, 4: 9-19.
- Hernández Navarro, M^a.L. (1990): “Frecuencia e intensidad del viento en Zaragoza”. *Geographicalia*, 27. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras.
- Jansà Clar, A. (1980): “El clima de las Baleares. Mediterraneidad e insularidad”. *Treballs de Geografia*, 39. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma.
- Jansà Guardiola, J.M. y Jaume, E. (1946): “El régimen de brisas en la isla de Mallorca”. *Revista de Geofísica*, IV, 19: 304-328. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Martínez Ibarra, E. (2006): Consideraciones geográficas en torno al binomio clima-turismo: aplicación al litoral alicantino. Tesis doctoral. Universitat d’Alacant.
- Matvejević, P. (1991): *Breviario mediterráneo*. Anagrama, Barcelona.
- Millán, M.; Salvador, R.; Mantilla, E.; Kallos, G. (1997): “Photooxidant dynamics in the Mediterranean basin in summer: Results from European research projects”. *J. Geophys. Res.*, 102: 8811-8823.
- Millán, M. (2002): Ozone Dynamics in the Mediterranean Basin: a Collection of Scientific Papers Resulting from the MECAPIP, RECAPMA and SECAP Projects. *Air Pollution Research Report 78*. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Valencia.
- Millán, M.; Estrela, M.J.; Miró, J. (2005): “Rainfall components: variability and spatial distribution in a mediterranean area (Valencia region)”. *Journal of Climate*, 18: 2682- 2705.
- Moreno García, M.C. (1993): *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Oikos-tau, Vilassar de Mar.

- Moreno García, M.C. (1997): “Una propuesta de terminología castellana en Climatología Urbana”. *Investigaciones geográficas*, 17: 89-98. Universidad de Alicante. Instituto Universitario de Geografía.
- Moreno García, M.C. (1998): “Las investigaciones sobre el clima urbano de las ciudades españolas”. *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, pp. 177-196, Madrid, Parteluz.
- Lalas, D.P.; Asimakopoulou, D.; Deligiorgi, D.; Helmis, C. (1983): “Sea-Breeze Circulation and Photochemical Pollution in Athens, Greece”. *Atmos. Environment*, 16: 531-544.
- OMM (1992): *Vocabulario Meteorológico Internacional*. OMM / No. 182, Secretaría de la OMM, Segunda Edición.
- Olcina Cantos, J. y Miró Pérez, J. (1998): “Influencia de las circulaciones estivales de brisa en el desarrollo de tormentas convectivas”. *Papeles de Geografía*, 28: 109-132.
- Pérez Cueva A.J. (1992): “Brisas e isla térmica urbana en Valencia”. *Aportaciones en homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa*. Universitat de València. Valencia, pp. 193-203.
- Pérez Cueva, A.J y Alastrué, A. (1994): “El clima urbà de València”. *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana*. Generalitat Valenciana. València. 205 pp.
- Pérez Cueva, A.J.; Gómez Lopera, F.; Tornero, J. (2006): “Ciudad y confort ambiental-estado de la cuestión y aportaciones recientes”. *Cuadernos de Geografía*, 80: 147-182. Valencia.
- Plan de Mejora de la Calidad del Aire de l'Alacantí occidental. Zona ES1013: Segura-Vinalopó (A. Costera) y Aglomeración ES 1017: Alacant*. Valencia: Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. 2010.
- Pita López, M^a.F. (2003): El clima de Andalucía. López Ontiveros, A. (Coord.): *Geografía de Andalucía*, Ariel, Barcelona, pp. 137-174.
- Quereda Sala, J. y Montón Chiva, E. (1996): “Dióxido de carbono y clima en el litoral mediterráneo”. *Investigaciones geográficas*, 16: 5-20.
- Ramis, C. y Ballester, M. (1984): “Ciclogénesis Catalano-Balear. Estudio del temporal de abril de 1978”. *Rev. de Geofísica*, 40: 243-258.
- Ramis, C.; Jansà, A.; Alonso, S. (1990): “Sea breeze in Mallorca: A numerical study”. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 42: 249-258.
- Ramis, C. y Romero, R. (1995): “A first numerical simulation of the development and structure of the sea breeze on the island of Mallorca”. *Ann. Geophys.*, 13: 981-994.
- Redaño, A. y Lorente, J. (1984): “Influencia del viento en la turbiedad atmosférica”. *Revista de Geofísica*, 40: 265-278.
- Redaño, A.; Cruz, J.; Lorente, J. (1991): “Main features of the sea-breeze in Barcelona”. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 46: 175-179.
- Romero, R. y Ramis, C. (1996): “A numerical study of the transport and diffusion of coastal pollutants during the breeze cycle in the Island of Mallorca”. *Annales Geophysicae*, 14: 351-363.

- Servera Nicolau, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesis Doctoral inédita. Universitat de les Illes Balears, Palma.
- Simpson, J.E.; Mansfield, D.A.; Milford, J.R. (1977): Inland Penetration of Sea Breeze Fronts, *Journal Royal Meteorological Society*, vol. 103.
- Simpson, J.E. (1994): *Sea Breeze and Local Winds*. Cambridge University Press, UK, 234 pp.
- Weyler Laviña, F. (1854): *Topografía físico-médica de las Islas Baleares y en particular de la de Mallorca*. Imprenta de Pedro José Gelabert, Palma.