

CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO EN EL CAMPO DE DUNAS DE MASPALOMAS (GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS, ESPAÑA)

Pablo Máyer Suárez, Emma Pérez-Chacón Espino, Natalia Cruz Averó, y
Luis Hernández Calvento
*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria**

RESUMEN

El estudio del viento es fundamental para caracterizar la dinámica de los sistemas de dunas. Éstos son escasos en Canarias y tienen un alto interés ecológico y económico. El objetivo de este trabajo es caracterizar el viento en el sistema de dunas de Maspalomas, para incorporar los resultados en futuros análisis de dinámica sedimentaria eólica. Los resultados permiten conocer las frecuencias de la dirección del viento, los promedios mensuales de la velocidad y las variaciones diarias. Con ello se han determinado los cambios estacionales del viento y su relación con la dinámica atmosférica.

Palabras clave: dirección del viento, velocidad del viento, sistema de dunas litoral, Maspalomas, Gran Canaria

Characteristics of the wind in the dunes field of Maspalomas (Gran Canaria, Canary Islands, Spain)

ABSTRACT

The study of the wind is crucial to understand and characterize the dynamics of the dune systems. These systems are rare in the Canary Islands and they have a high ecological and economic relevance. The objective of this study is to characterize the wind in the Maspalomas dune system to incorporate the results in future analyzes of its sedimentary aeolian dynamics. The results allow us to know the frequency of wind direction, the monthly averages of speed and the daily changes in speed and direction. We have then determined the seasonal changes of wind and its connection with atmospheric dynamics.

Keywords: wind direction, wind speed, coastal dune system, Maspalomas, Gran Canaria

1. INTRODUCCIÓN

El viento es probablemente una de las variables más estudiadas a la hora de analizar los sistemas de dunas. Entre los cuatro planteamientos actuales para comprender el comportamiento de los sistemas eólicos, Thomas y Wiggs (2008: 1.396) señalan los avances para medir la relación entre la energía del viento y los flujos de sedimentos. Esta relación, entre el viento y las dunas, ha sido ampliamente estudiada desde la primera mitad del siglo pasado (Bagnold,

Fecha de recepción: 14 de junio de 2012.

Fecha de aceptación: 9 de julio de 2012.

* Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente. Instituto de Oceanografía y Cambio Global. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Edificio de Ciencias Básicas. Campus de Tafira35017 Las Palmas de Gran Canaria (España). E-mail: pmayer@dgeo.ulpgc.es, eperez@dgeo.ulpgc.es, ncruz@becarios.ulpgc.es, lhernandez@dgeo.ulpgc.es

1941; Fryberger and Dean, 1979; Livingstone et al., 2006; Bullard and Livingstone, 2010). Para ello se han utilizado diferentes procedimientos: estaciones de observación experimental en el terreno, elaboración de modelos numéricos, análisis mediante de túneles de viento, entre otros. Asimismo también es frecuente la combinación de algunos de ellos como, por ejemplo, los estudios orientados a buscar la correlación entre datos de campo y modelos numéricos (Sauermaun et al., 2003:247). Dada la complejidad que entraña, por los múltiples factores que intervienen, sigue siendo una aspiración encontrar un modelo que permita relacionar el transporte de sedimentos con la velocidad del viento.

En el estudio del viento resulta necesario combinar diferentes escalas temporales (minutos, horas, días, semanas, años) y espaciales. El análisis temporal requiere que los datos tengan una alta resolución horaria, pues el viento es muy variable por unidad de tiempo. Por su parte, el análisis espacial necesita también combinar diferentes escalas, desde las observaciones en diferentes lugares de un mismo sistema de dunas, hasta el análisis de la dinámica atmosférica para comprender los regímenes del viento. Estos aspectos tienen un alto interés no sólo para conocer, por ejemplo, cómo influye el viento en la estacionalidad de la erosión eólica, o en la organización interna de un campo de dunas, sino también para la planificación y la gestión. Por ejemplo, si en un sistema de dunas se altera con edificaciones la circulación del viento, se inducen cambios ambientales en todo el sistema. De ahí la importancia de conocer adecuadamente esta variable.

En España, tras la intensa ocupación del litoral en las últimas décadas, se ha incrementado el interés por el estudio de las dunas en general, y de los sistemas dunares costeros en particular. La diversidad de equipos y procedimientos de análisis se recoge en la recopilación editada por Sanjaume y Gracia (2011). En buena parte de esos trabajos la referencia al viento –como variable explicativa– es constante, aunque también lo es la observación sobre la insuficiencia de datos de viento en muchas regiones españolas. En Canarias también han proliferado en los últimos años los proyectos de investigación I+D+i de convocatorias públicas (REN2003 – 05947, SEJ2007-64959 y CSO2010-18150) y las tesis doctorales (Alcántara-Carrió, 2003; Hernández-Calvento, 2006; Cabrera-Vega, 2010) sobre los sistemas de dunas canarios. En todos ellos son significativas las referencias al comportamiento del viento.

Es precisamente en el contexto de conocer mejor el funcionamiento de los sistemas de dunas de Canarias, que se caracterizan por su alto interés ecológico y económico, en el que se inserta este trabajo. Tiene como objetivo caracterizar el viento en el campo de dunas costero de Maspalomas (Gran Canaria), con la finalidad de incorporar los resultados en futuros análisis de dinámica sedimentaria eólica, así como en la planificación y gestión de este espacio.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El campo de dunas de Maspalomas se localiza en el extremo meridional de la isla de Gran Canaria (figura 1), en la desembocadura del barranco de Fataga. Constituye un sistema eólico costero poligénico que, formado a lo largo del Cuaternario, ocupa unos 4 km². Desde el punto de vista natural, presenta diversos ecosistemas: una laguna costera de interés biogeográfico; un campo de dunas, con dunas móviles -cordones barjanoides y transversales y dunas barjanas– y otras estabilizadas por la vegetación; depresiones interdunares en diferentes estadios de colonización vegetal; y dos playas que constituyen las zonas de entrada (playa del Inglés) y salida (Maspalomas) de los sedimentos arenosos. La topografía general del sustrato, sobre el que se apoyan las dunas, es relativamente suave, no superando los 6 msnm, si bien hay dunas

que alcanzan los 20 msnm. En contrapartida, en la parte nororiental del campo de dunas, una terraza aluvial alta (la terraza del Inglés, urbanizada desde los años setenta del siglo pasado), que se adentra en el campo de dunas en forma de cuña, alcanza en su vértice meridional unos 25 msnm y tiene una incidencia notable en la dinámica eólica local.

Este espacio tiene un alto interés natural, tanto desde el punto de vista de su geodiversidad como de su biodiversidad, por lo que se encuentra actualmente protegido, no sólo por la legislación autonómica (como reserva natural especial) sino también por la de ámbito europeo, como zona de especial conservación (ZEC). El sistema de dunas ocupó en el pasado una mayor extensión pero, con el desarrollo turístico de la zona, que se inició a mediados del pasado siglo, su entorno se ha ido edificando progresivamente, alterando con ello la dinámica natural del sistema (Hernández, 2006).

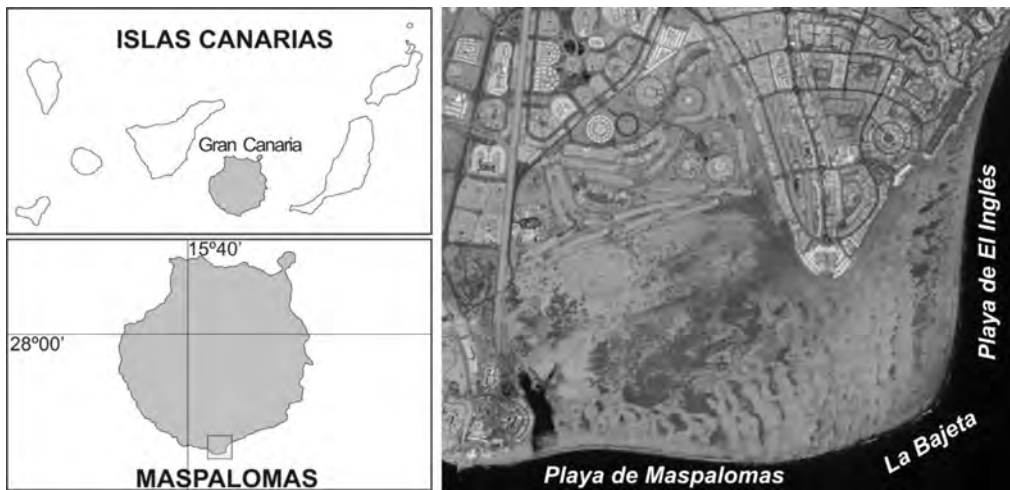


Figura 1. Localización y vista general del campo de dunas de Maspalomas.

Por lo que respecta a su clima, la temperatura media anual es de 23,5°C, y las máximas absolutas oscilan entre los 18°C y 24°C en invierno y los 30°C y 44°C en verano. Las precipitaciones medias anuales se sitúan en 76 mm que, en promedio, caen en 14 días. Ello supone que sólo llueve un 4% de los días del año. Además, tienen una acusada irregularidad interanual. La cercanía al mar determina altas tasas de humedad relativa, con promedios que varían entre el 71% y 75% anual. La nubosidad media es de 261 días despejados al año, 89 nubosos y 15 cubiertos.

En definitiva, presenta rasgos climáticos propios de las costas canarias que, situadas en la parte sur de las islas con mayor relieve, quedan relativamente al abrigo de los vientos dominantes (alisios), y de los efectos de las perturbaciones del frente polar. En contrapartida, Maspalomas es muy vulnerable cuando se producen los temporales del Suroeste, frecuentes sobre todo en invierno. A su vez, la forma troncocónica de Gran Canaria—que alcanza los 1.949 m en el centro de la isla— y su disimetría, entre un sector oriental de relieve masivo y otro oriental ocupado por una plataforma relativamente llana, inciden de manera notable en el comportamiento del viento en el área de Maspalomas.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

Para determinar las características generales del viento en Maspalomas se han utilizado los datos de la estación meteorológica completa, que la Agencia Estatal de Meteorología tiene instalada en las inmediaciones de la laguna costera de Maspalomas, a escasos metros de la línea de costa y a una altura de 30 m. Este observatorio comenzó a funcionar en noviembre de 1997, motivo por el que se escoge esta fecha como inicio del análisis, que se prolonga hasta abril de 2011. Los registros de la dirección y velocidad del viento se almacenan de forma instantánea cada hora. Este dato horario se obtiene del promedio de la velocidad y dirección del viento de los últimos 10 minutos de cada hora. Asimismo se almacena, de manera instantánea, la racha máxima (dirección y velocidad) horaria. Con estos datos horarios se calculan en este trabajo las frecuencias de las direcciones anuales y mensuales, mientras que de los datos de velocidad se obtiene la velocidad media mensual y horaria, así como la variación horaria del porcentaje total de calmas.

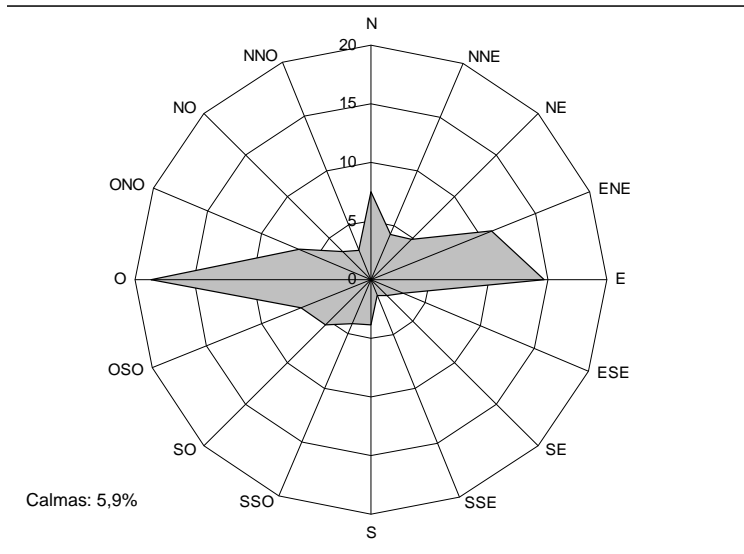
Por otro lado, considerando el ambiente sedimentario eólico en el que se produce este trabajo, tiene interés analizar la relación que existe entre la velocidad y la dirección del viento con la movilidad de los sedimentos. En este sentido, algunos trabajos muestran que, para el caso de Maspalomas, con velocidades de 4,2 m/s (Alonso et al., 2007: 17) ya existe transporte de sedimentos, aunque éste es muy poco significativo, con menos de 0,3 gr/m/s; pero a partir de velocidades de entre 5,6 m/s y 6,7 m/s se obtienen valores de transporte significativos (1 g/m/s). En otro estudio sobre este sistema de dunas (Pérez-Chacón et al., 2007: 6) se consideró que la velocidad umbral de transporte eólico es de 5,1 m/s. Teniendo en cuenta estos antecedentes, para este trabajo se ha optado por considerar 5,1 m/s como la velocidad umbral de transporte, de forma que los registros de viento con intensidad igual o superior a esta tasa se estiman como registros de “viento efectivo”.

Con el objetivo de establecer modelos de funcionamiento del viento en Maspalomas, los vientos efectivos se caracterizan mediante el análisis de las frecuencias de las direcciones, y del porcentaje mensual y horario, de los registros con valores iguales o superiores a la velocidad umbral. Esta cuestión se complementa con el análisis de los mapas del tiempo en superficie y 500 hPa, cuya finalidad es la de identificar los principales centros de presión durante los episodios de viento más significativos. Los mapas se han obtenido de la página *web* de Wetterzentrale (www.wetterzentrale.de), correspondiente al centro meteorológico de Alemania.

4. LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

La dirección del viento en Maspalomas muestra dos claras tendencias contrapuestas. Por un lado, la componente O, que supone el 19% de la frecuencia de las direcciones anuales y, por el otro, la componente E, que representa un 15% del total de las horas (figura 2).

Figura 2. Rumbos del viento en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Ahora bien, si consideramos los distintos rumbos del viento más frecuente en Maspalomas, las componentes OSO, O y ONO tienen un porcentaje del 32%, frente a las direcciones NE, ENE y E, que representan el 30%, por lo que la diferencia se reduce a tan sólo el 2%. Las direcciones mencionadas suponen el 62% de las frecuencias totales.

Del análisis de las direcciones mensuales del viento en Maspalomas (tabla 1) se deduce que, desde noviembre hasta febrero, las componentes E y ENE predominan sobre las demás. Por el contrario, entre abril y septiembre domina la componente O. Por su parte, los meses de marzo y octubre suponen claras situaciones de transición, pues las frecuencias correspondientes a las direcciones E y O se muestran prácticamente igualadas.

Tabla 1. Frecuencia mensual (en %) de la dirección del viento en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
N	11,7	8,9	7,1	7,8	5,7	2,9	2,9	3,6	6,2	10,0	11,7	10,1	7,5
NNE	6,7	5,6	4,1	4,1	3,2	1,3	1,4	1,6	3,0	5,5	7,0	5,9	4,2
NE	8,2	6,3	4,8	3,3	2,3	1,6	1,2	1,3	3,4	3,9	7,5	8,1	4,8
ENE	21,4	17,7	11,4	8,7	5,4	2,7	1,4	2,3	6,7	9,5	19,5	20,9	11,1
E	24,4	22,9	17,0	11,7	10,3	5,8	2,7	5,7	12,5	17,2	21,0	20,0	14,6
ESE	3,2	2,8	3,3	3,4	4,0	3,4	1,0	1,8	3,7	3,9	3,0	2,7	3,0
SE	1,8	1,4	2,6	2,6	3,5	2,1	1,0	1,3	2,6	2,5	1,4	1,6	2,0
SSE	1,0	0,8	1,7	1,9	2,6	1,7	0,9	1,3	1,5	1,7	1,4	0,9	1,4
S	2,3	2,4	4,4	6,0	5,1	6,5	4,2	4,8	4,1	3,7	2,1	1,8	3,8
SSO	1,7	2,1	3,8	5,4	7,1	7,2	6,4	5,8	5,4	3,3	1,5	1,7	4,1
SO	2,3	3,2	5,2	7,1	8,8	8,8	8,5	7,8	6,9	4,2	2,4	3,2	5,5

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
<i>OSO</i>	2,2	4,7	5,6	7,2	9,4	9,7	11,0	9,7	7,5	6,0	3,3	4,0	6,5
<i>O</i>	7,1	13,6	17,0	18,2	20,0	27,8	34,5	32,0	22,0	17,9	9,2	10,7	18,6
<i>ONO</i>	2,3	3,7	5,9	5,8	6,4	9,9	13,2	12,1	8,2	5,2	4,4	3,9	6,6
<i>NO</i>	1,6	2,0	3,1	3,7	3,9	5,7	6,7	5,4	3,6	2,4	1,6	2,4	3,4
<i>NNO</i>	2,2	1,9	3,1	3,2	2,5	2,9	3,0	3,3	2,8	3,2	2,9	2,3	2,8
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

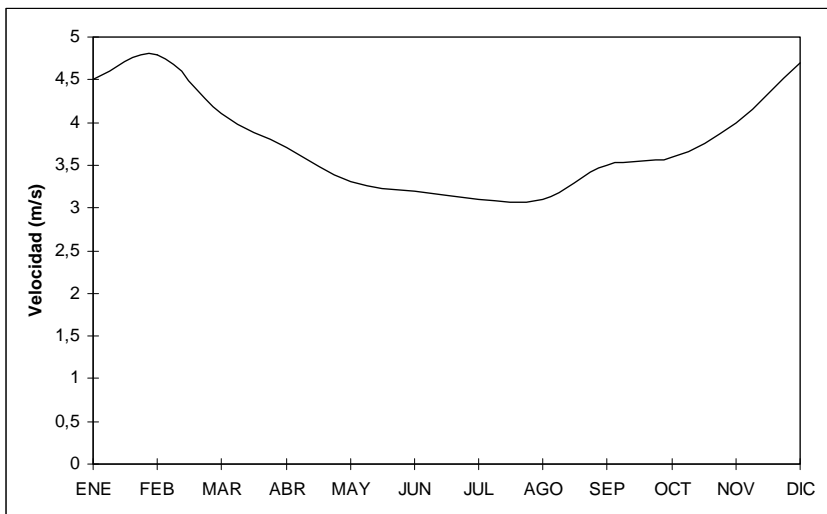
Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Esta alternancia mensual en la dirección de los vientos es fundamental para entender el comportamiento de la dinámica sedimentaria eólica en Maspalomas, pues la persistencia en una o en otra dirección, según los meses, determina el transporte neto de los sedimentos. No obstante, es necesario caracterizar previamente su velocidad, especialmente aquellas intensidades más altas, capaces de inducir un transporte significativo.

5. LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Los datos mensuales evidencian que los vientos más intensos en Maspalomas se producen en invierno, especialmente en febrero y diciembre (media de 4,5 m/s), mientras que es durante el verano cuando esta velocidad disminuye. Por su parte, los meses de julio y agosto presentan un promedio de 2,9 m/s (figura 3).

Figura 3. Promedio mensual de la velocidad del viento en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).

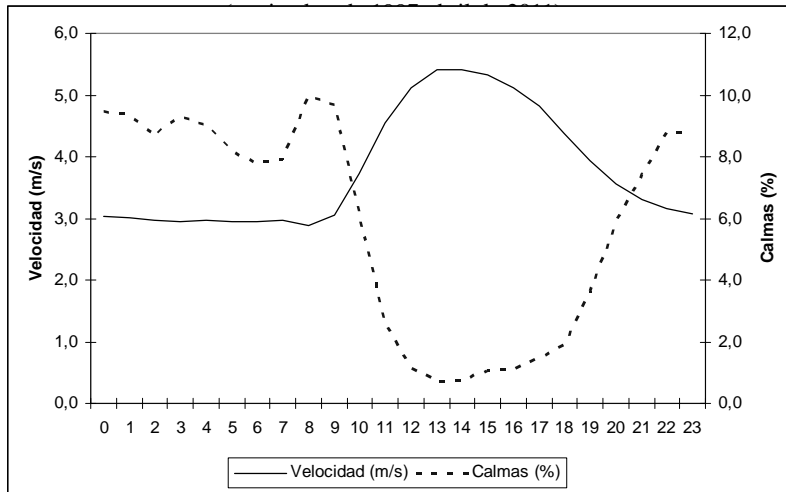


Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Otro aspecto, que ayuda a comprender el transporte sedimentario eólico en este sistema, es la variación que experimenta la velocidad media del viento a lo largo del día. Tal y como se observa en la figura 4, desde las últimas horas de la tarde hasta las primeras horas de la mañana, la velocidad del viento es baja (entre las 20:00 y 9:00 horas la velocidad media es de 2,8 m/s); a

partir de las 10:00 horas la velocidad se incrementa hasta alcanzar el máximo de 5,4 m/s hacia las 13:00 o 14:00 horas. Hay que señalar que en las horas centrales del día la insolación y la temperatura son más altas, mientras que la humedad relativa disminuye, lo cual favorece aún más el movimiento de los sedimentos.

Figura 4. Variación diaria de la velocidad media del viento en Maspalomas y frecuencia de las calmas



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Con respecto a las calmas, siguen un esquema inverso al descrito para la velocidad, de manera que éstas son más frecuentes durante las horas nocturnas y justo al amanecer (hasta las 8:00 o 9:00 horas de la mañana), mientras que en las horas centrales del día prácticamente desaparecen.

Pero no sólo varía la velocidad del viento a lo largo del día, sino que también lo hace la dirección. Tal y como se muestra en la tabla 2, a partir de las 22:00 h y hasta la 2:00 h, el viento que predomina en Maspalomas es del ENE; sin embargo es muy significativo que, a partir de esta última hora y hasta las 8:00 h de la mañana, fluyan los vientos de componente N. Este régimen de brisas nocturnas (terrales), con esta dirección, se debe a la canalización de los vientos por el barranco de Maspalomas, que tiene una marcada orientación N-S. A partir de las 9:00 de la mañana, al incrementarse la velocidad del viento, éste gira a componente O, que es la que predomina, aunque con escaso margen de diferencia sobre la E.

Tabla 2. Frecuencia horaria de los vientos en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	9	12	14	18	20	22	24	25	20	8	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	4	7
NNE	6	7	8	9	10	11	11	11	12	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	5
NE	7	8	9	8	8	10	9	9	8	6	2	1	1	1	1	1	0	1	1	2	3	4	6	7
ENE	18	18	15	15	15	14	14	13	14	13	10	6	4	3	3	3	3	5	8	11	14	18	19	18
E	11	10	11	10	9	8	8	9	10	13	18	21	23	23	22	20	20	19	17	15	14	13	12	12
ESE	2	1	1	1	1	1	1	1	2	4	4	5	5	6	6	6	5	4	4	2	2	2	2	1

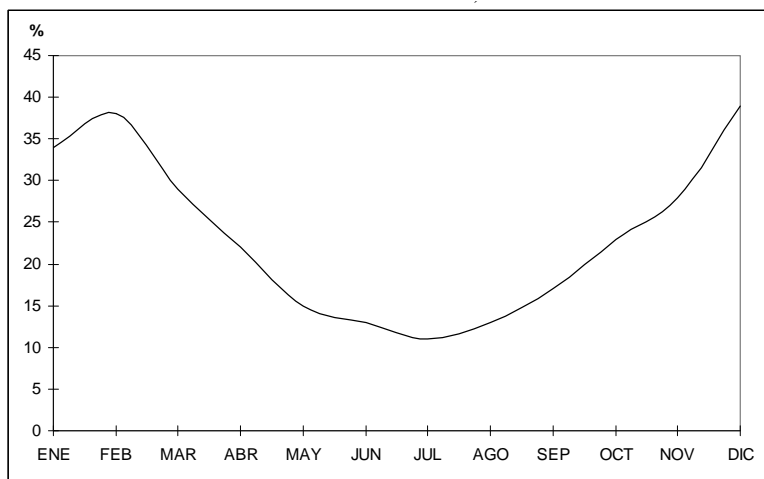
SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	
SSE	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
S	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	3	2	
SSW	2	2	2	1	1	2	1	1	1	3	6	7	6	6	6	7	7	6	6	5	4	4	3	
SW	3	3	3	2	2	2	1	1	2	4	7	9	9	9	10	9	9	9	8	8	7	5	4	4
WSW	4	4	3	3	3	2	2	2	2	5	8	10	10	10	11	11	12	10	9	8	6	6	6	4
W	15	12	11	9	9	8	7	6	9	17	23	26	26	27	27	28	27	28	29	27	24	20	17	15
WNW	9	8	8	7	7	6	6	6	6	7	5	3	3	2	3	3	4	5	6	9	10	11	10	10
NW	6	6	6	6	6	6	5	5	4	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6
NNW	4	5	6	6	7	7	8	7	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	

Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS VIENTOS EFECTIVOS EN MASPALOMAS

Del total de los datos horarios disponibles en Maspalomas, en un 24% de los casos se iguala o supera la velocidad umbral de 5,1 m/s. Tal y como se observa en la figura 5, a partir de noviembre la probabilidad de que se incremente este umbral es considerable, y adquiere su máxima importancia en los meses de diciembre y febrero, en los que el 39% y 38%, respectivamente, de los registros horarios, son vientos efectivos. Este porcentaje se reduce significativamente en los meses del verano, hasta alcanzar el mínimo del mes de julio (11%).

Figura 5. Frecuencia mensual de vientos efectivos en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Al observar los datos horarios, se corrobora la variación diaria del viento indicada en la figura 4, de manera que hacia el mediodía y primeras horas de la tarde se incrementa de forma considerable la intensidad del viento. Especialmente en los meses del invierno, durante esa franja horaria, es frecuente que más de la mitad de las horas superen los 5,1 m/s, especialmente hacia las 13:00 y 14:00 horas, con porcentajes que superan el 60% en diciembre (tabla 3).

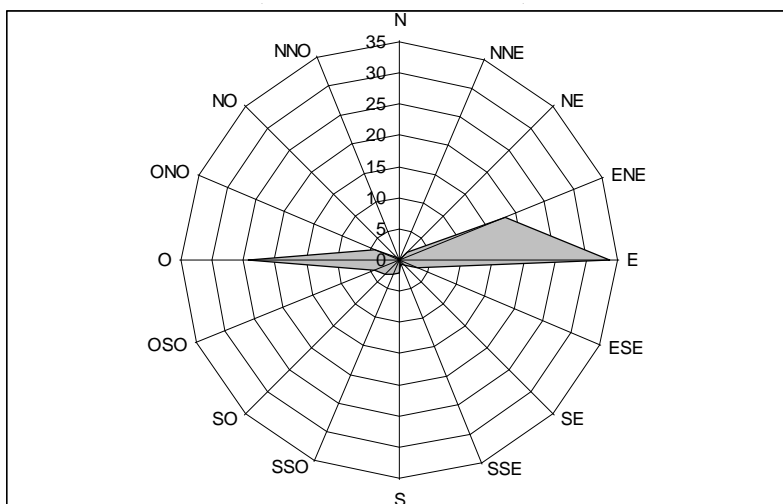
Tabla 3. Porcentaje horario y mensual de los vientos efectivos en Maspalomas (noviembre de 1997-abril de 2011).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ENE	23	23	21	22	24	21	21	22	20	25	40	47	52	57	55	58	54	52	45	36	26	27	24	22
FEB	26	30	29	28	27	24	25	26	28	29	41	50	58	62	59	59	59	51	45	39	32	27	30	27
MAR	19	18	17	17	19	18	17	17	18	23	31	39	44	55	50	50	49	42	36	27	22	18	17	20
ABR	10	11	11	9	8	10	9	7	8	11	17	26	39	45	46	44	43	40	35	28	18	13	14	12
MAY	5	6	4	5	4	4	4	5	4	8	12	20	27	38	37	40	34	30	26	15	12	8	7	7
JUN	1	0	1	1	2	2	2	1	2	5	12	22	28	34	31	31	30	31	23	14	7	5	2	2
JUL	3	2	1	4	4	2	2	2	3	4	5	10	23	27	29	32	28	24	20	15	9	4	3	3
AGO	3	5	3	3	2	5	4	3	4	7	8	16	26	33	32	31	27	26	23	18	9	4	5	3
SEP	5	5	7	5	3	6	6	5	3	8	18	24	36	39	39	42	36	30	21	15	11	8	9	7
OCT	14	12	11	10	9	8	9	9	8	15	21	34	39	45	50	46	43	40	29	20	19	15	13	12
NOV	18	17	16	15	17	14	16	15	14	20	34	44	48	53	49	49	48	42	30	24	24	21	25	20
DIC	25	25	26	28	29	27	25	24	26	29	42	52	58	63	60	61	62	57	51	40	35	33	31	30

Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Con respecto a la dirección del viento efectivo, existen tres direcciones predominantes (figura 6): la E (34%), la O (24%) y la ENE (18%). Si comparamos las direcciones que oscilan entre los 67,5° (ENE) y los 112,5° (SSE) con las que lo hacen entre 247,5° (OSO) y 292,5° (ONO) las diferencias son significativas: un 55% frente a un 33% respectivamente. Esta es la razón principal que explica que el transporte neto de las dunas se produzca de E a O (o de ENE a SSO). Cabe añadir que este transporte es más significativo durante el invierno, pues es cuando los vientos adquieren una mayor velocidad, tal y como se detalla a continuación mediante la caracterización estacional de los vientos efectivos en Maspalomas.

Figura 6. Frecuencia de las direcciones del viento efectivo (noviembre de 1997-abril de 2011).



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

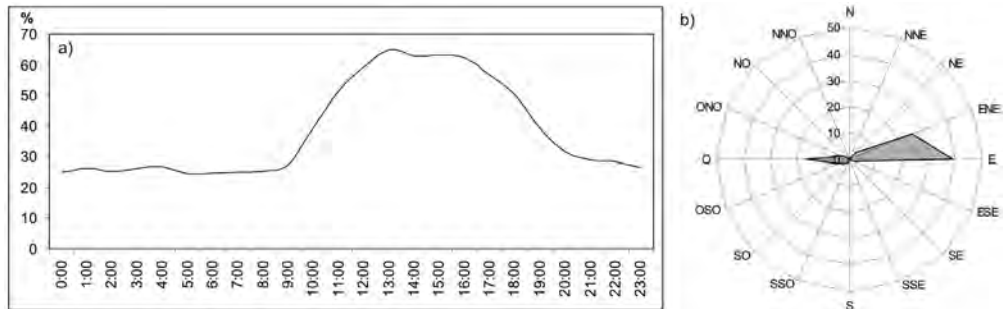
7. VARIACIONES ESTACIONALES DEL VIENTO Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA ATMOSFÉRICA

Teniendo en cuenta las variaciones de la velocidad y dirección del viento que se producen a lo largo del año, se pueden establecer tres modelos de funcionamiento eólico en Maspalomas. Estas fluctuaciones están determinadas fundamentalmente por cuestiones relacionadas con la dinámica atmosférica. Entre ellas tienen una especial incidencia las variaciones latitudinales que experimentan los centros de presión en el Atlántico Norte, tal y como se explica a continuación.

A) Vientos intensos invernales

El primer modelo se caracteriza por una mayor intensidad de los vientos. Comprende los meses invernales, en los que casi el 40% de las horas analizadas superan los 5,1 m/s (figura 7). Cuando el viento adquiere esta intensidad, la componente E supera en frecuencia a las demás (39%), frente a las ENE (26%) y O (16%).

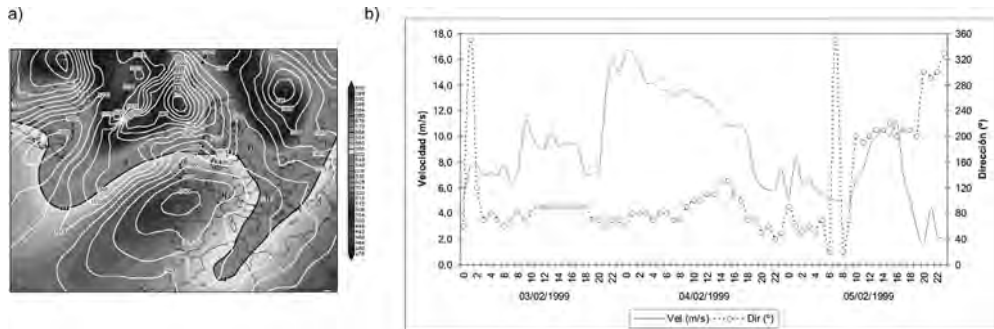
Figura 7: Frecuencia (a) y rumbos (b) de los vientos efectivos en invierno en Maspalomas (1997-2011)



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Durante estos meses se producen, en las capas medias y altas de la atmósfera, fuertes ondulaciones de la corriente en chorro, que en el entorno de Canarias se traduce en la aparición de, al menos, dos situaciones capaces de generar intensos vientos del primer cuadrante. El primero de ellos se caracteriza por la expansión de masas de aire polar sobre el Mediterráneo occidental y el norte de África y altas presiones sobre el Atlántico, debido a una circulación meandriforme de la corriente en chorro. En superficie, el sector meridional del potente anticiclón, que suele situarse al sur o al oeste de las Islas Británicas, genera sobre Canarias un flujo de E al SE, tal y como sucede en el ejemplo seleccionado de la figura 8. En este caso, desde el 03 al 05 de febrero de 1999, se produjeron intensos vientos del E, que en la madrugada del día 03 llegaron a adquirir velocidades de hasta 16,7 m/s del ENE.

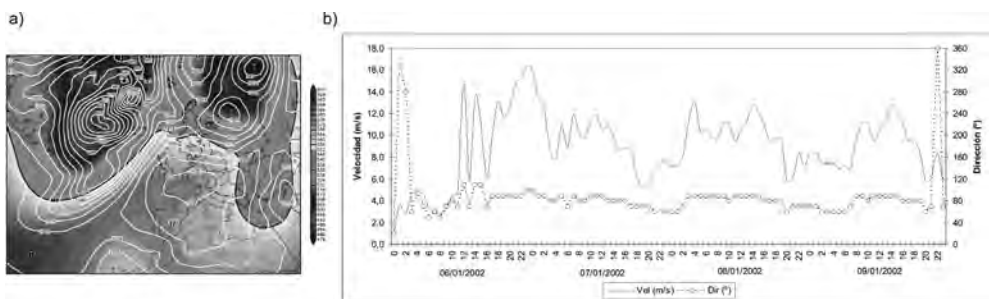
Figura 8. Circulación general de la atmósfera en superficie y 500 hpa el 03 de febrero de 1999; dirección y velocidad del viento del 03 al 05 de febrero de 1999.



Fuente de los datos: Mapa del tiempo www.wetterzentrale.de; datos climáticos AEMET.

El otro modelo se caracteriza por la presencia de depresiones aisladas en los niveles altos de la atmósfera, próximos a la región de Canarias, que en superficie se acompaña, igualmente, por bajas presiones. Las altas presiones, por su parte, se ubican sobre el continente europeo o en la vertical de la península Ibérica. Esta combinación genera un gradiente significativo de presión sobre Canarias, con vientos intensos del E al SE, tal y como sucedió a principios de enero de 2002 (figura 9).

Figura 9. Circulación general de la atmósfera en superficie y 500 hpa el 06 de enero de 2002; dirección y velocidad del viento del 06 al 09 de enero de 2002.



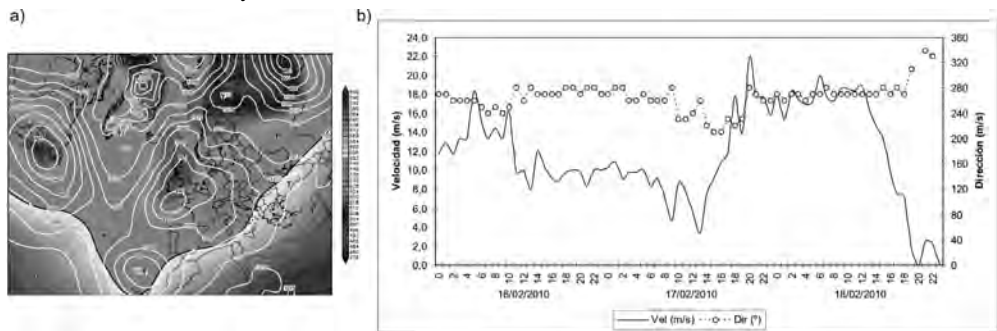
Fuente de los datos: Mapa del tiempo www.wetterzentrale.de; datos climáticos AEMET.

El gradiente de presión, generado entre las bajas presiones próximas a Canarias y las altas presiones situadas en Centroeuropa, favoreció el incremento de la velocidad del viento, que adquirió, en el este y sur de Gran Canaria, las máximas velocidades. Esto se debe, además de las cuestiones atmosféricas indicadas, a la orografía de la isla, su forma troncocónica, y a la existencia de una amplia llanura en el este y sureste del edificio insular, lo que favorece la aceleración de los vientos y el predominio de la componente E en el vértice más meridional, donde se localiza el campo de dunas de Maspalomas.

Por todo ello, durante el invierno es cuando los sedimentos tendrán una mayor movilidad, y el avance neto de las dunas se producirá siguiendo la dirección de los vientos efectivos. Empero, durante el invierno también se producen episodios de viento que alcanzan velocidades

considerables cuando arriban a las islas borrascas del frente polar. Prueba de ello es que las velocidades más altas registradas en Maspalomas se han producido durante estos temporales. Sirva como ejemplo los 22 m/s alcanzados en Maspalomas el 17 de febrero de 2010 (figura 10) y, como caso excepcional, los 25 m/s durante la tormenta tropical Delta (en este caso la racha máxima superó los 100 km/h). En ambos casos, cuando el viento sopló con estas intensidades, lo hizo con una componente O. Así pues, durante los días que permanece la borrasca en el entorno de las islas, los vientos giran al tercer cuadrante, modificando la geometría de las dunas en sus crestas, pero sin llegar a producir su removilización completa en el sentido contrario, dada su menor persistencia. Se une a ello el hecho de que generalmente estos temporales del O y SO aparecen acompañados de lluvias que, al humedecer el sedimento arenoso, reducen la capacidad del transporte eólico.

Figura 10. Circulación general de la atmósfera en superficie y 500 hpa el 18 de febrero de 2010; dirección y velocidad del viento del 16 al 18 de febrero de 2010.

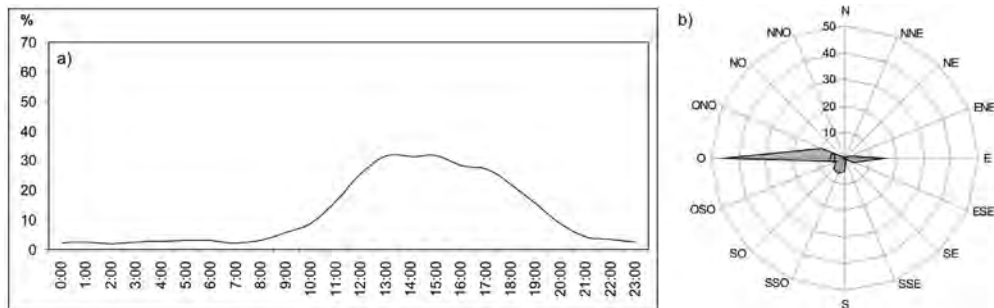


Fuente de los datos: Mapa del tiempo www.wetterzentrale.de; datos climáticos AEMET.

B) Vientos moderados estivales

El segundo modelo comprende los meses del verano. En ellos la velocidad del viento disminuye considerablemente, pues sólo un 12% corresponde a vientos efectivos (figura 11). Las direcciones más frecuentes cambian considerablemente con respecto al modelo anterior: en este caso la componente O supone el 45% de las direcciones, seguido de la E (15%) y de la ONO (9%).

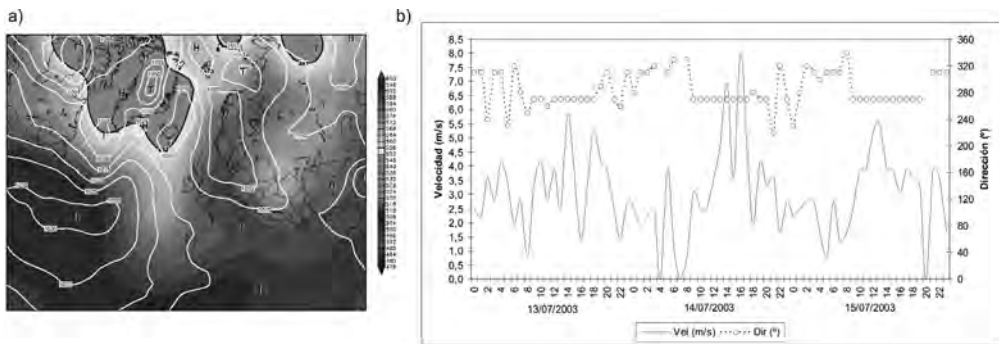
Figura 11: Frecuencia (a) y rumbos (b) de vientos efectivos en verano en Maspalomas (1997-2011).



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

Estas variaciones en intensidad y dirección obedecen al desplazamiento hacia el norte de los principales centros de presión que afectan a Canarias. El anticiclón de las Azores, centrado sobre ese archipiélago, domina el espacio sinóptico de Canarias, y el régimen de alisios se establece sobre el archipiélago, con algunas variaciones según la mayor o menor incidencia de las bajas presiones térmicas del norte de África (figura 12). No es de extrañar, por ejemplo, que en el mes de julio en Maspalomas el viento tenga una frecuencia del 65% del tercer cuadrante, y la velocidad media se sitúe en torno a los 3,0 m/s. Tal y como se muestra en la figura 12, las altas presiones situadas sobre las Azores generan un flujo de componente NE sobre las islas. La configuración del relieve de Gran Canaria favorece la persistencia de los vientos del tercer cuadrante en el vértice sur de la isla.

Figura 12. Circulación general de la atmósfera en superficie y 500 hpa el 14 de julio de 2003; dirección y velocidad del viento del 13 al 15 de julio de 2003.

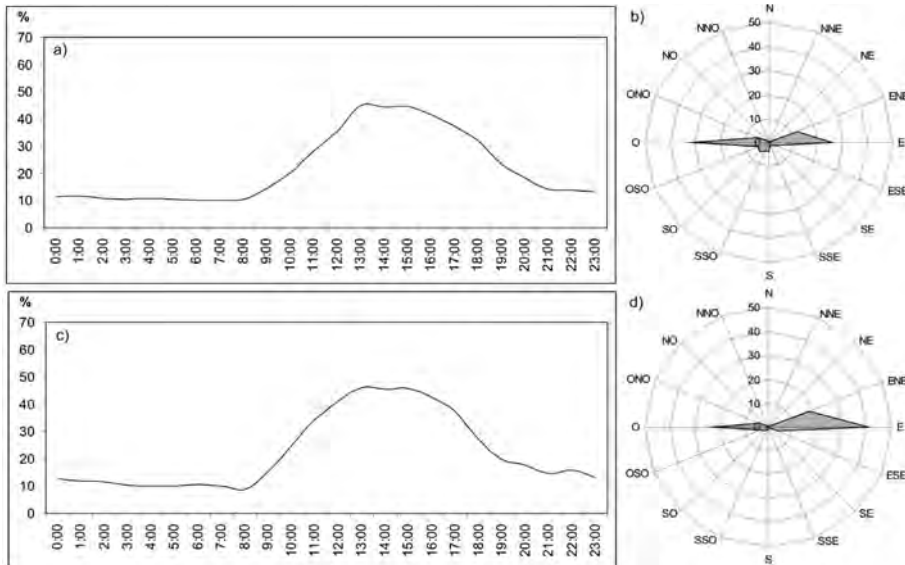


Fuente de los datos: Mapa del tiempo www.wetterzentrale.de; datos climáticos AEMET.

C) Vientos de primavera y otoño

Finalmente, el tercer modelo comprende los meses de la primavera y del otoño. Ambas estaciones se pueden considerar como una transición entre los dos modelos anteriores. Prueba de ello es que ambos tienen el mismo porcentaje de vientos efectivos (23%), si bien difieren las direcciones (figura 13). Así, durante la primavera, cuando el viento sopla con intensidades superiores a 5,1 m/s, es más frecuente que lo haga con una componente O (31%), seguido de la E (26%) y ENE (12%); mientras que durante el otoño esta frecuencia cambia, de manera que la componente E supera a las demás (41%), seguida de la O (22%) y ENE (18%). Este modelo refleja la transición de los centros de presión del verano al invierno y viceversa, lo cual se traduce en el giro estacional en la dirección de los vientos y en su intensidad.

Figura 13: Frecuencia y rumbos de vientos efectivos en primavera (a y b) y otoño (c y d) en Maspalomas (1997-2011)



Fuente de los datos: Agencia Estatal de Meteorología.

9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que, en el campo de dunas de Maspalomas, la dirección y velocidad del viento presentan variaciones significativas, tanto estacionales y mensuales como diarias. Los rumbos del viento más frecuente se reparten entre las componentes OSO, O y ONO (32% de frecuencia) y las direcciones NE, ENE y E (30%). Si se considera la distribución mensual, se observa que, desde noviembre hasta febrero, predominan las componentes E y ENE; mientras que entre abril y septiembre lo hace la componente O. Por lo que respecta a la velocidad, los vientos más intensos se producen en invierno, especialmente en diciembre y febrero (media de 4,5 m/s), mientras que durante el verano la velocidad disminuye: julio y agosto presentan un promedio de 2,9 m/s. Esta característica se acentúa si se consideran sólo los vientos superiores a 5,1 m/s, pues en los meses de diciembre y febrero suponen casi el 40% de todos los registros horarios, mientras que en julio la frecuencia se reduce al 11%. Por su parte, la dirección del viento efectivo presenta tres componentes predominantes la E (34%), la O (24%) y la ENE (18%). Finalmente, el análisis de las variaciones estacionales ha permitido determinar tres modelos de funcionamiento eólico a lo largo del año: vientos intensos invernales, vientos moderados estivales y vientos de primavera/otoño. Estas fluctuaciones están directamente relacionadas con los cambios latitudinales que experimentan los centros de presión en el Atlántico Norte.

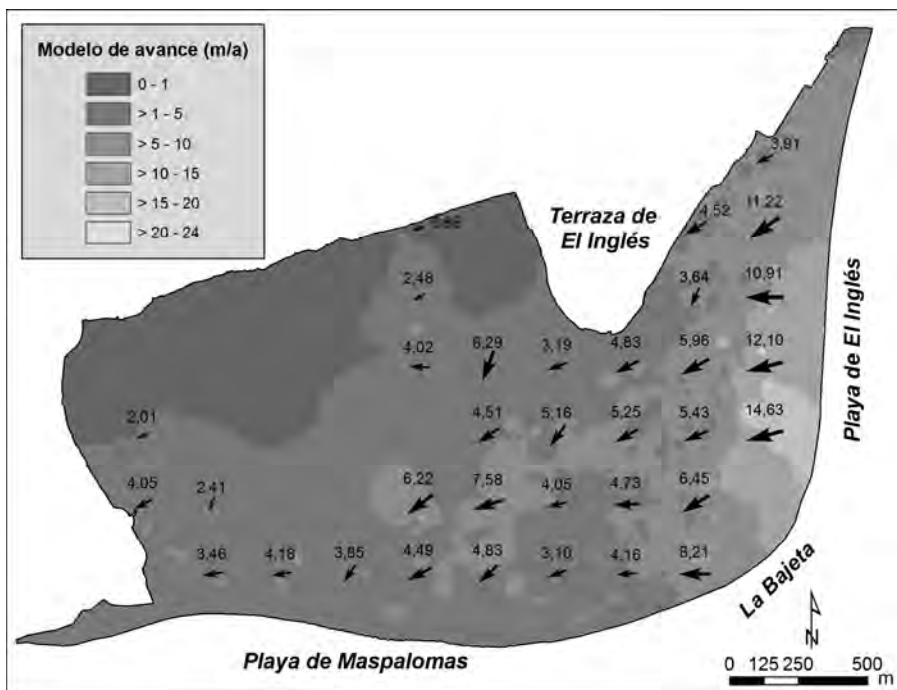
Por su parte, también se ha constatado que el régimen diario del viento presenta cambios: la velocidad es máxima durante las horas centrales del día (10:00h.-14:00 h.), mientras que se reduce significativamente durante la noche. Esta característica coincide con la evolución diaria de los vientos descrita en otros desiertos (Pye & Tsoar, 1991:29; Barth, 2001: 390), que está relacionada con los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, y las turbulencias que ello genera en el aire. A su vez, en Maspalomas no sólo cambia la velocidad, sino que también lo

hace la dirección del viento: rotando desde los vientos del E y O, que predominan en las horas centrales del día, hasta los procedentes del ENE y N que lo hacen durante la noche.

Estos resultados son claves, tanto para completar la caracterización del transporte sedimentario eólico en el campo de dunas, como para establecer criterios de planificación y gestión en ese espacio. El estudio del primer aspecto se inició a través de métodos experimentales, utilizando torre de anemómetros y captadores de arena (Alonso et al., 2007), o realizando el seguimiento de parcelas con topografía de campo con GPS-D (Hernández et al., 2006); y se completó con estudios diacrónicos a partir de imágenes digitales (ortofotos e imágenes de satélite), obteniendo resultados como el mostrado en la figura 14. En ella se indican las tasas de avance de las dunas entre 2003 y 2004, que presentan una tasa media de 5,45 m/año en todo el campo de dunas, con una máxima de 25,19 m/año y una mínima de 0,4 m/año. Es evidente que estas tasas dependen de muchos factores (altura y volumen de la duna, condiciones topográficas, humedad, vegetación, etc.), pero la caracterización del viento realizada permite explicar algunas cuestiones que aparecen en esa figura:

Figura 14: Modelo de avance de las dunas de Maspalomas (2003-2004).

Las flechas indican la dirección dominante del desplazamiento de los frentes de las dunas, y los números la tasa de avance en metros/año.



Fuente de los datos: modificado de Hernández et al., 2007.

- El transporte neto de las dunas se produce de E a O (o de ENE a SSO), siguiendo los rumbos dominantes de los vientos efectivos; y se estima que éste debe ser mayor en invierno, pues se trata de la estación en la que estos vientos son más frecuentes.

- En la zona de entrada de sedimentos marinos al sistema de dunas (playa del Inglés), antes de que aparezcan obstáculos, predomina la dirección E-O en el avance de las dunas, cuestión directamente relacionada con la dominante E de los vientos efectivos. De igual forma sucede en las trayectorias de avance que aparecen paralelas a la costa hasta Maspalomas. La dirección del avance de las dunas cambia drásticamente cuando alcanza los alrededores de la terraza del Inglés, cuyas edificaciones turísticas han alterado el flujo eólico. Eso ha producido una sombra eólica al oeste de la terraza, que coincide con unas tasas de avance reducidas, y una aceleración del viento en el extremo meridional de esa geoforma (Alonso et al., 2008: 128), que tiene consecuencias en el transporte sedimentario.

Finalmente, y por lo que respecta a la planificación y gestión, son muchas las consecuencias que se derivan del estudio realizado. Aunque parezca una obviedad, cualquier sistema eólico depende en gran medida del funcionamiento del viento, por lo que las actuaciones humanas deben evitar alterar esa dinámica. Si bien en Maspalomas las transformaciones antropogénicas del ecosistema han sido sustanciales, las decisiones futuras deben tener en cuenta –entre otras cuestiones– el comportamiento estacional, mensual y diario de esta variable. Así, por ejemplo, se puede regular la instalación de hamacas y cortavientos en algunas zonas, para que no coincida con las horas centrales del día, en la que los vientos efectivos podrían aportar más sedimentos desde la zona supramareal a la duna costera; o localizar los quioscos de playa en las áreas donde interfieran menos el flujo eólico y el avance de las dunas. En definitiva, en el espacio protegido de Maspalomas y su entorno, son muchas las decisiones de gestión costera cuyo acierto dependerá de un adecuado conocimiento del viento.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido realizada en el marco de los proyectos de I+D “REN2003 – 05947” “SEJ2007-64959” y “CSO2010-18150”, financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación y por fondos FEDER, cuyas aportaciones agradecemos.

BIBLIOGRAFÍA:

- ALONSO, I. SÁNCHEZ PÉREZ, I., RODRÍGUEZ, S., PEJENAUTE, I., HERNÁNDEZ A., MENÉNDEZ, I., HERNÁNDEZ, L., PÉREZ-CHACÓN, E. y CABRERA, L.L. (2007): “Aeolian dynamic changes due to the obstacle generated by *Traganum moquinii*”. In: Proceeding of International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes ICCD 2007, Santander, pp. 11-18.
- ALONSO, I., HERNÁNDEZ, L., MANGAS, J. y MEDINA, R. (2008): “Sedimentología, hidrología y geomorfología en el campo dunar de Maspalomas”. In: *Geo-Guías 5*, Sociedad Geológica de España, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 121-136.
- ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (2003): *Dinámica sedimentaria eólica en el Istmo de Jandía (Fuerteventura). Modelización y cuantificación del transporte*. Cabildo de Gran Canaria. Gran Canaria.
- BAGNOLD, R. (1941): *Physics of Wind-Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
- BARTH, H.J. (2001): “Characteristics of the wind regime north of Jubail, Saudi Arabia, based on high resolution wind data”. *Journal of Arid Environments*. 47, pp. 387–402.

- BULLARD, J.y LIVINGSTONE, I. (2010): "Classics in physical geography revisited — Wasson RJ and Hyde R (1983) Factors determining desert dune types. *Nature* 304: 337–339". *Progress in Physical Geography*. 34, pp. 857–862.
- CABRERA VEGA, L.L. (2010): *Sedimentología, estratigrafía, dinámica sedimentaria y evolución de El Jable (Lanzarote): propuesta de gestión*. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- FRYBERGER, S. G.y DEAN, G. (1979): "Dune forms and wind regime". In: MCKEE, E. (Ed.): *A Study of Global Sand Seas: United States Geological Survey Professional*. Washington. Paper, 1052, Pp. 137–169.
- HERNÁNDEZ, A.; HERNÁNDEZ, L.; PÉREZ-CHACÓN, E.; MÁYER, P.; ROMERO, L.; ALONSO, I.; SÁNCHEZ, I.; MARTÍN, M.; MEDINA, S.y MIRANDA, Y. (2006): "Seguimiento de la dinámica de dunas litorales en la playa de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias, España)". In: PÉREZ-ALBERTI, A. y LÓPEZ BEDOYA, J. (Eds.): *Geomorfología y territorio*. SEG y Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, pp. 389-400.
- HERNÁNDEZ CALVENTO, L. (2006): *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo Insular de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.
- HERNÁNDEZ, L., OJEDA, J., SÁNCHEZ, N.y MÁYER, P. (2007): "Aproximación al análisis del desplazamiento de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, islas Canarias)". In: GÓMEZ-PUJOL, L. y FORNÓS, J.J. (Eds.): *Investigaciones recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, pp. 113-117.
- LIVINGSTONE, I., WIGGS, G.y WEAVER, C. (2006): "Geomorphology of desert sand dunes: a review of recent progress". *Earth-Science Reviews*. 80, pp. 239–257.
- PÉREZ-CHACÓN ESPINO, E., HERNÁNDEZ CALVENTO, L., HERNÁNDEZ CORDERO, A., MÁYER SUÁREZ, P., ROMERO MARTÍN, L., ALONSO BILBAO, I., MANGAS VIÑUELA, J., MENÉNDEZ GONZÁLEZ, I., SÁNCHEZ PÉREZ, I., OJEDA ZÚJAR, J., RUIZ FLAÑO, P.y ALCÁNTARA CARRIÓ, J. (2007): *Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- PYE, K.y TSOAR, H. (1991): *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman. London.
- SAUERMANN, G., ANDRADE JR., J.S., MAIA, L.P., COSTA, U.M.S., ARAÚJO, A.D.y HERRMANN, H.J. (2003): "Wind velocity and sand transport on a barchan dune". *Geomorphology*. 54, pp. 245–255.
- SANJAUME, E.y GRACIA, F.J. (Eds) (2011): *Las dunas en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Cádiz.
- THOMAS, D. S. G.y WIGGS, G. F. S. (2008): "Aeolian system responses to global change: challenges of scale, process and temporal integration". *Earth Surface Processes and Landforms*. 33, Issue 9, pp. 1396–1418.
- WETTERZENTRALE. <<http://www.wetterzentrale.de>>, [consulta: 4/06/2012].