

*Análisis espacio-temporal  
(1956-2005) de la  
foredune de Cala  
Mesquida (N. Mallorca)  
mediante el uso de  
variables geoambientales y  
antrópicas*

**José Ángel Martín-Prieto**

Departament de Ciències de la Terra  
Universitat de les Illes Balears  
josean33@gmail.com

**Francesc Xavier Roig-  
Munar**

Departament de Ciències de la Terra  
Universitat de les Illes Balears

**Antonio Rodríguez-Perea**

Departament de Ciències de la Terra  
Universitat de les Illes Balears



# ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL (1956-2005) DE LA *FOREDUNE* DE CALA MESQUIDA (N. MALLORCA) MEDIANTE EL USO DE VARIABLES GEOAMBIENTALES Y ANTRÓPICAS

José Ángel Martín-Prieto  
Francesc Xavier Roig-Munar  
Antonio Rodríguez-Perea

**RESUMEN:** Se analiza la evolución temporal y espacial de la foredune de Cala Mesquida (N. Mallorca), mediante la aplicación de un método de análisis de variables geoambientales y antrópicas que nos permite identificar las variaciones espaciales y temporales de vulnerabilidad del sistema (1956-2005).

**PALABRAS CLAVE:** Cala Mesquida, foredune, gestión litoral

**ABSTRACT:** The foredune in Sa Mesquida (N. Majorca) is analysed by means of variables of use, condition state and management variables, which allowed the system's spatial variations from 1956-2005 and vulnerability to be identified.

**KEY WORDS:** Cala Mesquida, foredune, coastal management.

## 1. Introducción

Ante el reclamo de un turismo de sol y playa, el litoral balear ha sido objeto de una constante presión antrópica que comenzó en la década de los sesenta y que ha ido en aumento hasta la actualidad. Cala Mesquida no ha sido una excepción a este fenómeno y ha sufrido directamente esa presión debido a su proximidad a uno de los núcleos turísticos más importantes –Cala Ratjada– de la costa norte de Mallorca.

Esta presión se ha traducido en una degradación del conjunto del sistema dunar y de forma especial las *foredunes* de forma casi exponencial a lo largo de las tres últimas décadas. Ello queda reflejado en la evolución y desarrollo de las morfologías de tipo transgresivo como los *blowouts*, alcanzando dimensiones hectométricas y que en la actualidad y ante la ausencia de cualquier tipo de gestión, aumentan de tamaño año tras año.

La situación del sistema dunar de Cala Mesquida (Fig.1), encajado entre dos relieves estructurales y su orientación hacia los vientos de mayor frecuencia e intensidad (Tramuntana), le confieren unas características diferentes del resto de sistemas dunares de la isla de Mallorca. Este hecho hace que el sistema dunar (de 1.6 km<sup>2</sup>) adquiera un desarrollo longitudinal perpendicular respecto a la línea de costa, frente a la evolución de cordones más o menos paralelos a la misma, que tiene lugar en el resto de sistemas dunares.

La figura 2 muestra la disposición longitudinal del sistema dunar y la división en dos sectores del frente dunar como consecuencia de la desembocadura del torrente de sa Mesquida que divide el sistema en dos áreas bien definidas. El sector oriental, donde se desarrolla la *foredune* y que ocupa la mayor parte del sistema y el occidental que ocupa una franja más estrecha encajada entre el torrente y el área urbanizada situada en la margen occidental de la cala.

Del sector oriental, destaca la fragmentación de la *foredune* actual en dos a partir de un *blowout* y sobretudo el desarrollo de otro *blowout* de mayores dimensiones situado junto a la zona de desembocadura del torrente y que evoluciona en dos lóbulos. Inmediatamente detrás de las *foredunes* se desarrollan varios *blowouts* más que avanzan hacia el interior del sistema enterrando la vegetación arbórea a su paso con un promedio de 2-2.5 m/año. También destacan las superficies de deflación en el sector más próximo al torrente, debido a la dinámica fluvio-torrencial, que hace que en ocasión de grandes avenidas, la margen derecha del torrente sea la más dinámica, erosionando parcialmente un sector de *foredunes*, disminuyendo la superficie para el desarrollo de las morfologías dunares. Además, el torrente actúa como un importante factor erosivo natural, al poner a disposición del viento una plataforma sin vegetación que favorece el transporte eólico.

Por lo que respecta al sector occidental, este se halla bajo el dominio del torrente de sa Mesquida, donde su margen izquierda está ocupada parcialmente por la creación de una zona de ocio y un restaurante. Esta zona y sus instalaciones han sido necesario protegerlas con un muro de hormigón para evitar la erosión por socavamiento, con ocasión de avenidas. Además, este sector es la principal zona de acceso peatonal a la playa y al interior del sistema dunar, debido a la ubicación de una zona residencial y el parking para vehículos.

Por lo que respecta a la principal fuente de alimentación del sistema playa-duna, esta la constituye la plataforma continental, que se extiende a lo largo de una franja de unos 38 km de anchura, con una pendiente media de 0.52%. Respecto al litoral inmediatamente sumergido, delimitado por la isobata -5 m, esta se encuentra a una distancia de 500 m de la línea de costa con una pendiente media del 1%. Por tanto, el litoral sumergido presenta unas características favorables a los procesos de acumulación de sedimento (Servera, 1997).

Así, cualquier desequilibrio que se produzca tanto en la playa sumergida, como en la playa emergida o en el primer cordón de *foredunes* tiene una rápida repercusión que se manifiesta en el resto del sistema dunar.

## 2. Objetivos y metodología

Para entender la dinámica y evolución del sistema dunar de cala Mesquida, se proponen dos objetivos. El primero de ellos es el de analizar la evolución temporal y espacial del sistema dunar en su conjunto y de forma especial la *foredune* a lo largo de las últimas décadas hasta la actualidad, mediante un método semicuantitativo denominado Listado de Control. A partir de este objetivo inicial, y una vez conocido el estado actual del sistema dunar, el segundo objetivo trata de determinar las causas que han

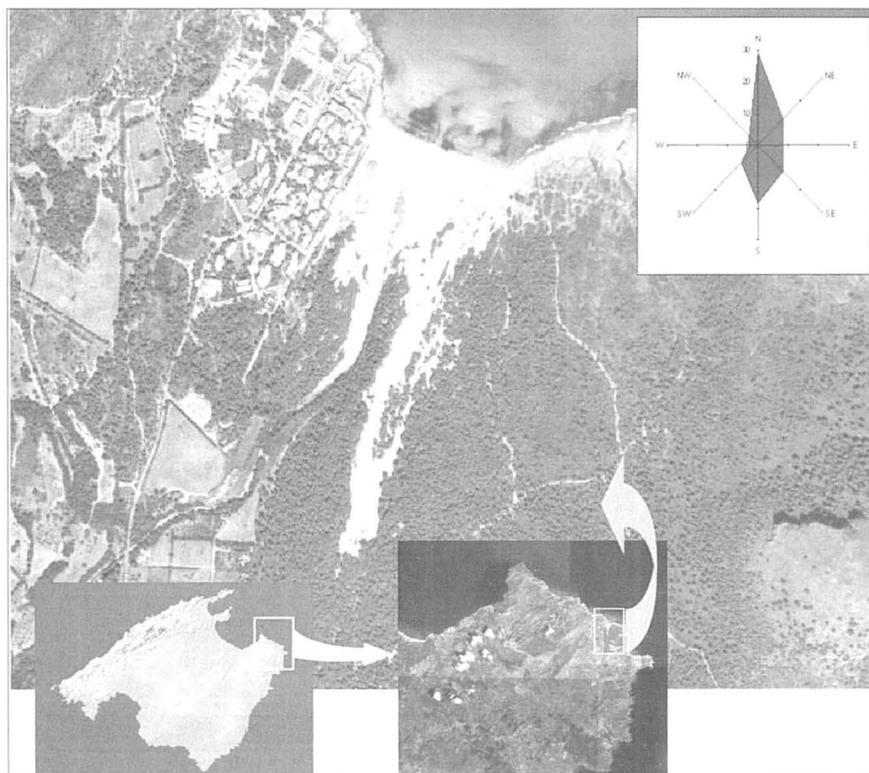


Figura 1. Localización del área de estudio.

conducido a esta evolución como primer paso para abordar su gestión.

Para alcanzar estos objetivos, nos hemos servido de la fotografía aérea disponible desde 1956 hasta la actualidad, junto con la utilización de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta nos ha permitido calcular, establecer y comparar la superficie de la *foredune* a lo largo del periodo de estudio.

Con tal fin, se ha manejado una metodología desarrollada a partir de la utilización conjunta de cartografía a escala 1:5.000 con fotografías aéreas verticales correspondientes a los años 1956, 1973, 1983, 1990, 1997 y 2002 (Ojeda, 2000); para el año 2005 se rea-

lizó trabajo de campo. Una vez digitalizadas las fotografías de los diferentes vuelos, se ha cartografiado la superficie vegetada y la evolución geomorfológica de cada uno de los vuelos, en una secuencia temporal que nos ha permitido establecer la tendencia dinámica del sistema playa-duna de Cala Mesquida.

Cada fotograma ha sido digitalizado y los datos resultantes fueron tratados y analizados a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta, permite además de la corrección geométrica de las imágenes, la posibilidad de trabajar a la misma escala y realizar operaciones espaciales, lo cual nos ayuda a identificar cambios tanto de forma espacial como temporal.

Finalmente, se ha empleado de un Listado de Control (tabla 1), que nos describe el Índice de Vulnerabilidad (IV). El Listado de Control es un método semicuantitativo que utiliza varios parámetros y que permite identificar las variaciones espaciales y temporales de la vulnerabilidad de las dunas tanto de forma natural como antrópica (Curr *et al.* 1997). Ha sido utilizado y contrastado en numerosos sistemas dunares de Europa, tanto del ámbito atlántico como mediterráneo (Williams *et al.*, 1998, Larranjea, *et al.*, 1999, García-Mora *et al.* 2001).

Este listado, modificado a partir de Williams *et al.*, 1993, Curr *et al.*, 1997 y García-Mora *et al.* 2001, permite una repe-

tición sistemática de los principales parámetros que sintetizan la condición de un sistema dunar, que nos ha permitido conocer y profundizar en las causas que han conducido al estado de degradación actual. Para su elaboración, además de la fotografía aérea, se ha utilizado numeroso material fotográfico (a partir de los años 80) y el trabajo de campo.

Para el caso que nos ocupa, Cala Mesquida, este método intenta conocer y dar respuesta a su evolución espacio-temporal, así como las causas de su situación actual y cual ha sido el análisis de la gestión realizada hasta la fecha de una forma gráfica. Este es un método extensible y aplicable al resto de sistemas playa-duna del archipiélago balear.

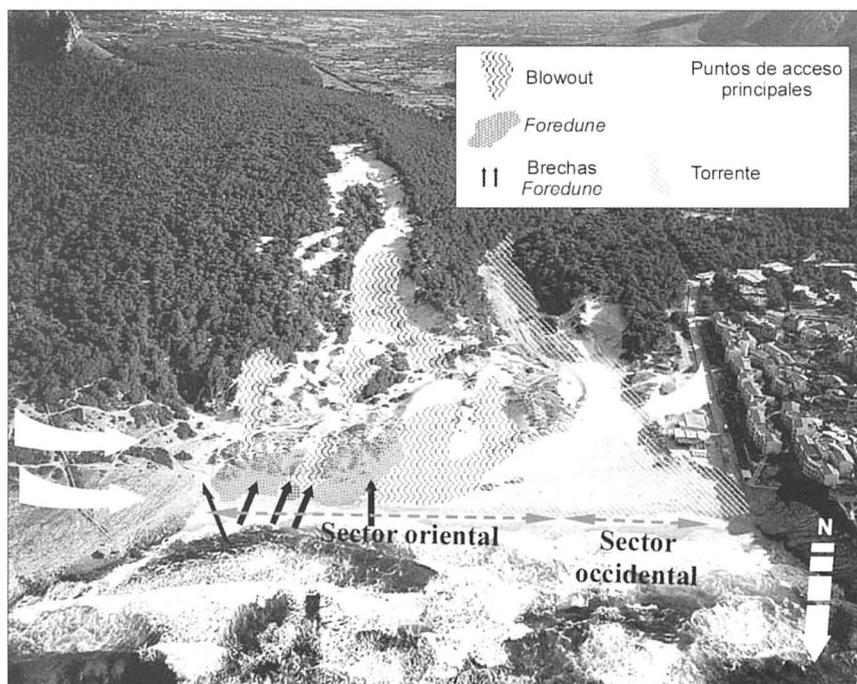


Figura 2. Vista oblicua del sistema dunar de Cala Mesquida mirando hacia el sur (modificado sobre una fotografía oblicua del Ministerio de Medio Ambiente).

Las dunas litorales debido a su carácter dinámico se encuentran entre las morfologías más variables y dinámicas de la naturaleza. Cualquier modificación de alguno de los factores marinos, eólicos, vegetación, presión humana, etc., pueden alterar su dinamismo.

Es por ello que una rápida identificación de las causas que han originado su vulnerabilidad puede ayudar en la elección de las medidas de gestión más adecuadas (Williams et al. 1993) y sin duda, una de las principales causas de desestabilización es la presión antrópica relacionada con las actividades turístico-recreativas sobre las dunas litorales. Una vez iniciada la desestabilización, los procesos erosivos se pueden acelerar de forma exponencial si las medidas de gestión son erróneas o simplemente si estas no han existido.

El análisis para establecer el índice de vulnerabilidad y el de protección de un momento dado consiste en definir un total de 51 variables (Tabla 1). A cada una de ellas se le otorga un valor entre 0-4 (siendo 0 muy bajo y 4 muy alto). La comprobación del Listado de Control y su aplicación tanto en el litoral atlántico como mediterráneo permite valorar de una forma cuantificable la vulnerabilidad de un determinado sistema dunar (García-Mora et al. 2001).

De este modo se han identificado cinco grupos de variables basadas en aspectos físicos (geomorfología, dinámica eólica y marina, vegetación) y antrópicos.

**Eje A: Identificación de los aspectos físicos** (9 variables): esta categoría hace referencia a aquellos elementos que tienen que ver con la capacidad de resistencia del sistema a los diferentes agentes: fetch (determina de forma indirecta la importancia del oleaje y su acción sobre la costa), superficie dunar, su longitud y anchura, nº de cordones, que caracterizan el sistema y el balance sedimentario, la importancia del mismo o la influencia fluvio-torrencial, la presencia y número de canteras.

**Eje B: Morfología y condición de playa/duna** (9 variables): el aporte de sedimento y el retroceso de la línea de costa (con referencia al año anterior) identifican variables que determinan el balance del sistema playa-duna, junto a la presencia de afloramientos rocosos en la playa. La presencia o ausencia de roturas del frente dunar, puede tener un origen antrópico o natural y determina la situación del sistema playa/duna. Otras variables (presencia de *Posidonia oceanica* y vegetación de playa) también son representativas de un sistema en equilibrio o donde la influencia humana tiene mayor peso.

**Eje C: Características de la franja litoral** (11 variables): esta categoría se ha restringido a este espacio (el cual podríamos considerar como el ocupado principalmente por la *foredune*), porque es el área más vulnerable a la degradación tanto antrópica como natural. La primera de sus variables hace referencia a la clasificación morfoecológica de *fordunes* establecida por Hesp (1988), esta clasificación depende de un número de factores como el aporte de sedimento, el grado y tipo de cobertura vegetal, el ratio de erosión y acreción eólica y las morfologías incipientes. Cada estadio representa una morfología modal típica, dentro de un rango de morfologías que se dan en cada estadio. La transición entre cada estadio no es de forma brusca, si no que es transicional, pudiendo evolucionar hacia estadios erosivos o acrecionarios en función de elementos como revegetación, técnicas de estabilización y/o reducción de la capacidad erosiva del viento.

Los siguientes factores: porcentaje de superficie sin vegetar, *blowouts* y arena transportada al interior, determinan la situación del área y están relacionados entre ellos. La presencia de *hummocks*, también es un factor que determina la topografía y que se producen por erosión del frente dunar.

Tabla I. Variables utilizadas en el Listado de Control y su división en los diferentes grupos.

	0	1	2	3	4	
<b>SECCIÓN A: LUGAR Y ASPECTOS MORFOLÓGICOS DE LA DUNA</b>						
1	Fetch ortogonal	corto		medio		largo
2	Superficie sistema dunar (m <sup>2</sup> )	>500 ha		>100		<100
3	Longitud de la línea de costa (km)		>10	>5	>1	<1
4	Anchura cordón dunar (km)	>5km	>2	>1	>0,1	<0,1
5	Máxima altura dunas (m)	>25	>10	>5	>1	<1
6	Nº de cordones	>10	9_5	4_3	2	1
7	Influencia fluvio-torrencial	muy baja	baja	moder.	alta	muy alta
8	Tamaño del sedimento	>1	0	1	2	3
9	Canteras	ninguna		pequeña		grande
TOTAL %						
<b>SECCIÓN B: CONDICIÓN DE LA PLAYA</b>						
1	Retroceso línea de costa (m)	<10		10_50		>50
2	Aporte de sedimento	alto		moder		bajo
3	Afloramientos	0	<5	>5	>25	>50
4	Escarpe frente dunar natural (%)	0	<25	>25	>50	>75
5	Escarpe de frente dunar antropico (%)	0	<25	>25	>50	>75
6	Roturas del frente dunar	muy bajo	bajo	moderado	elevado	muy elev.
7	Anchura de la roturas	<2		2_10		>10
8	Presencia de Posidonia oceanica	mucha		alguna		ning
9	Vegetación de playa	mucha		alguna		ning
TOTAL %						
<b>SECCIÓN C: ASPECTOS SOBRE LOS 200 M DESDE EL MAR</b>						
1	Clasif. Morfoecológica Hesp (1988)	Est. 1	Est. 2	Est. 3	Est. 4	Est. 5
2	% de superficie sin vegetar	<10	>10	>20	>40	>75
3	Blowouts como % del area	<5	>5	>10	>20	>40
4	Arena transportada hacia int. Sistema	muy baja	baja	moderado	alta	muy alta
5	Topografía de hummocks	ning	baja	alguna	alta	muy alta
6	% noemorfologías hacia línea de costa	>50	>25	>5	<5	0
7	% roturas con nuevas dunas	>75	>25	>25	>5	0
8	% vegetado de la cara de barlovento	>90	>60	>30	>10	<10
9	Mantos cólicos sin consolidar	muy bajo	bajo	moder.	alto	muy alto
10	Cambios frontales desde 1956	avance		oscila		retroces
11	Cambio de vegetación desde 1956	increm		oscila		decrece
TOTAL %						
<b>SECCIÓN D: PRESIÓN DE USO</b>						
1	Presión de visitantes	muy baja	baja	moderada	alta	muy alta
2	Acceso rodado	ninguno		moderada		bueno
3	Tránsito de vehículos	ninguno		alguno		mucho
4	Presencia de caballos	ninguno		alguno		mucho
5	Densidad de la red de caminos	muy baja	baja	medio	alta	muy alta
6	Limpieza mecánica	No		moderado		Si
7	Camping	poco		alguno		mucho
8	Distancia núcleo turístico (km)	>1		0,5_1		0
9	Instalaciones temporales	Ninguna		1_3		>4
10	Instalaciones permanentes	Ninguna		1_3		>4
11	Distancia al parking (km)	>1		0,5_1		0
TOTAL %						
<b>SECCIÓN E: MEDIDAS DE PROTEC. REC.</b>						
1	% de superf. con restric. paso peatones	0	<10	>10	>25	>50
2	Parking controlado	nada		alguna		todo
3	Paso de caballos controlado	nada		alguna		todo
4	Paso de vehículos controlado	nada		alguna		todo
5	Restricciones de paso vehículos (m)	nada		alguna		todo
6	Trampas de arena (% relac. Línea costa)	<10	10_30	30_50	50_75	>75
7	Revegetación de áreas móviles (m <sup>2</sup> )	<10	10_30	30_50	50_75	>75
8	Paneles informativos	0		1_3		>4
9	Regeneración artificial	ninguna		alguna		muchas
10	Protección por legislación?	debil		moder		alta
11	Estructuras artificiales que afecten (m <sup>2</sup> )	0		1		>1
TOTAL %						

La presencia de neomorfologías es síntoma de estabilización o recuperación del frente dunar, al igual que las roturas del frente recolonizado por nuevas dunas y el porcentaje de vegetación de la cara de barlovento. Por el contrario, los mantos eólicos sin consolidar producen una degradación y un output en el balance sedimentario playa-duna.

Los dos últimos factores, cambios frontales y de vegetación desde 1956, son claros indicadores de la evolución temporal y espacial del frente dunar, que indican la tendencia del mismo.

**Eje D: Presión de uso** (12 variables): todas las variables se refieren a la presión antrópica en sus diferentes modalidades.

**Eje E: Medidas de protección y gestión: IP** (11 variables): son aquellas medidas encaminadas a la restauración, recuperación, mantenimiento y conservación del espacio litoral. De igual modo que en la sección anterior, no ofrecen dificultad en su cuantificación, tan solo explicar que en el caso de ausencia de protección por legislación, se da el valor cero. El valor 1 cuando está bajo la Ley de Costas de 1988, el valor 2 si se halla en ANEI (Area Natural de Especial Interés), el valor 3 cuando se halla en Parque Natural y el valor 4 para Parque Nacional.

Los cuatro primeros ejes o categorías nos dan el índice de vulnerabilidad (IV) del sistema dunar y la quinta el índice de gestión y protección (IP). El ratio IV/IP, verifica la estabilidad del sistema y se considera que está en equilibrio cuando el resultado se encuentra entre 0.8-1.3. Por encima o debajo de esos valores, el sistema está en desequilibrio. Los valores se expresan en porcentajes sobre el total de cada eje. Los resultados necesitan una cuidadosa interpretación: así, un bajo índice de protección no significa necesariamente una inadecuada gestión y viceversa (Williams *et al.* 1993). Las características generales pueden ser

representadas gráficamente y su resultado nos muestra el balance entre la vulnerabilidad y las medidas de gestión.

### 3. Resultados de la evolución espacio-temporal de la *foredune*

El desarrollo morfológico de una *foredune* depende de un buen número de factores: aporte de sedimento, el grado y tipo de cobertura vegetal, el balance entre acreción-erosión, la frecuencia y magnitud del régimen del oleaje y del viento (Hesp, 1983). A ellos se le ha de añadir uno más: la acción antrópica que a lo largo de las últimas décadas se ha convertido en uno de los de mayor peso en la configuración y evolución de las dunas litorales, con un uso turístico acentuado sobre la *foredune*.

En este apartado, analizaremos la evolución espacio-temporal de las *foredunes* a partir de las fotografías aéreas, juntamente con el Listado de Control para cada uno de los años.

#### Año 1956

La fotografía aérea de 1956 nos muestra una *foredune* bien desarrollada, topográficamente continua, solamente interrumpida por el cauce del torrente de sa Mesquida y con una cobertura vegetal superior al 90 %. Por tanto la consideramos como el estado ideal desde el punto de vista morfoecológico y corresponde al estadio I de la clasificación de Hesp (1988).

Por lo que respecta a la acción antrópica, esta se puede considerar negligible. El gráfico en la figura 3, corresponde a los valores de este año. Tan solo han puntuado los ejes A y B (aspectos físicos de la duna y condición del sistema-playa respectivamente), los cuales solo alcanzan el 46.9 y el 16.7% del total. Mientras, los ejes C y D (características de la franja litoral y presión de uso) tienen un valor de cero, que

refuerzan el estado de conservación ideal del sistema dunar y la *foredune* para el fotograma correspondiente a 1956.

También destaca la ausencia de valor en la categoría E (medidas de protección y

gestión). En este caso, la ausencia de gestión no representa un factor negativo, simplemente el buen estado de conservación y la ausencia del presión antrópica hacen que no sea necesario ningún tipo de gestión.

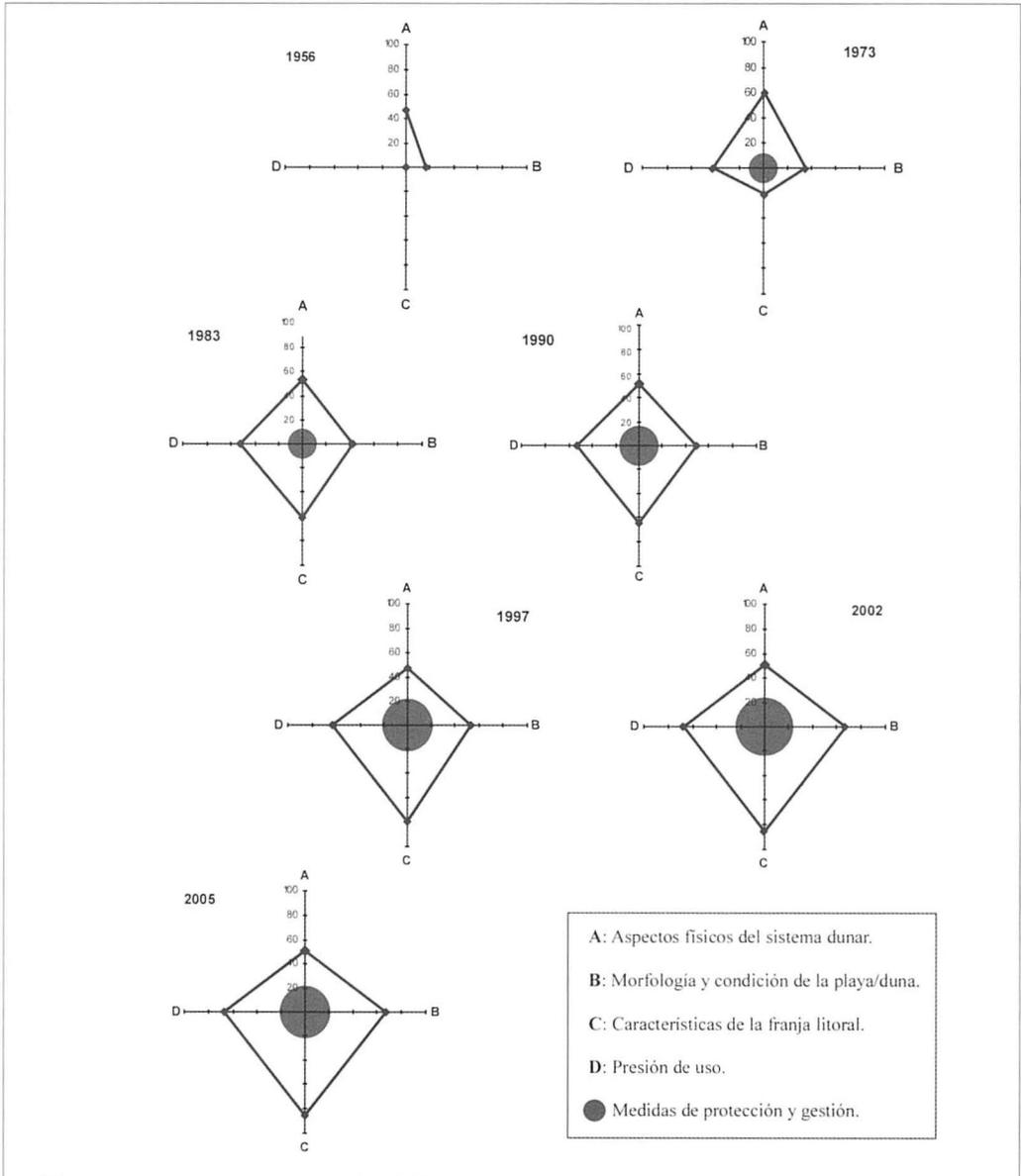


Figura 3. Representación gráfica del Listado de Control para cada analizado.

### Año 1973

Por lo que respecta a 1973, el aspecto más importante es la erosión producida por el torrente de sa Mesquida en el margen occidental de la *foredune*. También, se aprecia una interrupción del frente con pequeños *blowouts*, que representa una disminución en la superficie vegetada en un 15 % inferior a 1956 (fig. 4).

A diferencia de 1956, la presión antrópica comienza a ejercer un peso considerable. Si comparamos el gráfico de características de los dos años (fig. 3), se aprecia con claridad un desplazamiento de los ejes A y B hacia una mayor degradación, especialmente el primero de ellos. Además, aparecen por

primera vez los ejes C y D, con un porcentaje del 20.8 y 41.7% respectivamente, hecho que coincide con la aparición de la zona turístico-residencial ubicada en la margen occidental de la cala, entonces de reciente creación.

En cuanto a las medidas de protección, estas representan un total del 12.5 %, centrándose principalmente en el parking controlado y un control de acceso de los vehículos. A pesar de su uso, nos encontramos ante un buen estado de conservación, que aun correspondería al estado I de la clasificación morfoecológica de Hesp (1988), por tanto no hay una fuerte degradación.

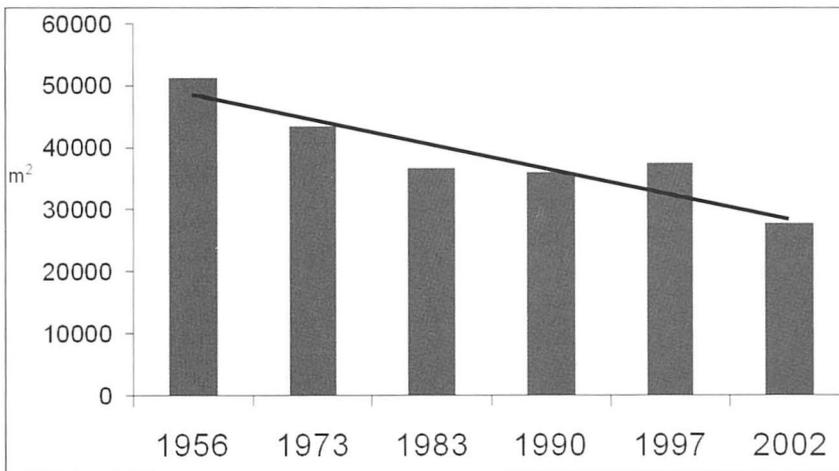


Figura 4. Evolución de la superficie vegetada.

### Año 1983

En 1983 la superficie vegetada disminuyó un 15% con respecto a 1973 y era de casi un 30% inferior comparándola con el año 1956 (fig. 4). El aspecto más importante de este año es la importante fragmentación

del frente dunar en pequeñas brechas, alguna de las cuales desembocarán en la formación de morfologías transgresivas de tipo *blowouts*. Así mismo, el *blowout* occidental (que se inicia con la riada de 1973) ha incrementado su tamaño hasta alcanzar el cauce

del torrente. En la clasificación morfoecológica, nos encontraríamos en el estadio 2 de Hesp (1988).

En cuanto al análisis de las características del Listado de Control (fig. 3), nos resulta una figura casi simétrica donde el porcentaje los ejes C y D ha aumentado claramente con respecto a 1973, siendo de 60.4% (tres veces superior que en 1973) y 52.1% respectivamente. Esta diferencia obedece al incremento del transporte de arena hacia el interior del sistema, relacionado con el aumento del porcentaje de superficie ocupada por *blowouts*, unido al retroceso de la *foredune* y la creación y desarrollo de roturas del frente dunar. En cuanto a la presión de uso, aumenta la densidad de caminos y la presencia de instalaciones temporales sobre la playa, así como la creación de una instalación permanente junto a la zona urbana. Respecto a las medidas de gestión, estas continúan siendo las mismas que en 1973.

Sin duda el aspecto más destacado de este año con respecto a los anteriores es que constituye un punto de inflexión y el inicio de la degradación del sistema dunar, especialmente en lo referente al estado de conservación de la *foredune* puesto de manifiesto en el incremento superior al doble en los valores del eje C.

#### Año 1990

La tendencia iniciada en la fotografía de 1983 se confirma con un aumento en el número de *blowouts* sobre la *foredune* en su parte central y junto al canal de deflación situado en el *blowout* más occidental, si bien la superficie vegetada aumenta ligeramente (fig. 4), debido a la recolonización de la vegetación psamófila en el extremo del *blowout* más occidental como consecuencia del aporte de nuevo sedimento procedente de la erosión del frente dunar.

Desde el punto de vista morfoecológico nos encontramos en el estadio 3 de la

clasificación de Hesp (1988). Se ha de destacar, que el sector más occidental de la *foredune*, correspondería a un estadio superior (estadio 4, cuyas características veremos más adelante) más erosivo, con el importante desarrollo de un *saucer blowout*. En conjunto, se caracteriza por una topografía con inicio de morfologías tipo *hummock*, un aumento en el número de brechas en el frente dunar y el desarrollo de un *trough blowout* en el sector oriental de la *foredune*. Estas morfologías transgresivas transportan importantes cantidades de sedimento hacia el interior del sistema al acelerarse el flujo eólico, iniciando el desequilibrio sedimentario del sistema playa-duna, y el avance de morfologías de lóbulos arenosos hacia el interior, enterrando a su paso parte de la masa forestal.

El Listado de Control (fig. 3) confirma estos datos con un aumento del porcentaje de todos los ejes (excepto el D, que se mantiene similar). Así, el eje B, refleja un aumento en el número de roturas del frente dunar. En cuanto a las medidas de gestión, estas continúan siendo las mismas con respecto al año 1983.

#### Año 1997

En la fotografía de 1997 destaca un aumento de la superficie del canal de deflación principal situado en la margen occidental de la *foredune*, así como del tamaño del *blowout*. La superficie de la vegetación aumenta ligeramente con respecto a 1990 (fig. 4). Este incremento obedece a la aparición de *shadow dunes* sobre el *blowout* más occidental y de mayor tamaño, cuando la vegetación coloniza la superficie erosionada por el torrente.

Dentro de la clasificación morfoecológica, seguimos en el estadio 3, pero aumentando los condicionantes para alcanzar el estadio 4, que se manifiesta principalmente en el incremento de los *blowouts*, canales de deflación y aumento de la

topografía *hummock*; todo ello en el sector occidental de la *foredune*.

El gráfico de la figura 3 confirma el aumento de la presión que se manifiesta en un crecimiento del área del polígono con respecto a 1990 en los ejes C (77.1 %) y en el D (presión de uso), con un porcentaje de 62.5 (un 20% superior a 1990). Ello es debido a un incremento de la presión de visitantes y del número de caminos; también se aprecia un incremento del tráfico rodado por del interior del sistema dunar.

En cuanto a las medidas de protección, este porcentaje aumenta debido a la protección por legislación al ser incluida esta área como Área Natural de Especial Interés (ANEI) a partir de la Ley 1/91 de 30 de enero. Ello conlleva la declaración de suelo no urbanizable de especial protección, además de la inclusión de paneles informativos a ambos extremos de la playa. De cualquier modo, la ausencia de planes anteriores de gestión hace que estas medidas sean insuficientes para evitar la degradación del sistema y sean meramente legales sin ningún tipo de gestión física sobre el medio.

### Año 2002

La fotografía aérea correspondiente a este año sigue mostrando un incremento de la superficie de arena sin vegetar (la superficie vegetada con respecto a 1956 es un 46 % inferior). Nos encontramos en el estadio 4 de la clasificación morfoecológica de Hesp (1988). La *foredune* se ha transformado en dos *blowouts* (en el sector occidental) de escala hectométrica, encabezados por una superficie de deflación y rodeada de montículos parcialmente vegetados, mostrando una topografía típica de *hummocks*. En la otra mitad de la *foredune*, el número de lóbulos se mantiene constante, pero el tamaño del *trough blowout* continúa aumentando sus dimensiones canalizando el sedimento desde la playa hacia el interior del sistema. Topográficamente, la *foredune* es asimé-

trica, con paredes verticales hacia el mar producto de la erosión.

En lo que se refiere al gráfico, los valores se mantienen similares a 1997 en todos sus ejes, mostrando un ligero incremento en el eje C. Este aspecto nos muestra el estado de degradación continuado desde 1997. En cuanto a las medidas de protección, se aprecia un incremento con respecto a 1997, debido a la creación del Parc Natural de la Península de Llevant, con fecha de 12/07/2001, aunque lamentablemente no se creó un apartado específico de gestión de este u otro sistema dunar.

### Año 2005

El gráfico realizado para este año se llevó a cabo a partir del trabajo de campo. A partir de él se ha elaborado una cartografía geomorfológica del sistema dunar con un mayor detalle en la zona más sensible del mismo con el objeto de determinar su evolución futura.

En la gráfica resultante (fig. 3) se puede observar un incremento del valor de todos los ejes, especialmente sobre el eje B, que con respecto al año 2002 es del 16.6 %. Este incremento en la degradación de la playa obedece fundamentalmente a factores como la erosión del frente dunar, a un retroceso de la línea de costa y una mayor anchura de las brechas del frente dunar. En cuanto al aumento en el eje D, se debe a la presencia de vehículos sobre el sistema dunar, no solo de 4x4, si no que se denota la presencia de quads en cualquier parte del sistema.

Este hecho viene a resumir de forma clara los síntomas de degradación progresiva en los últimos años del sistema dunar y que parece que de forma irremediable las *foredunes* terminarán en el estadio 5 de la clasificación morfoecológica de Hesp (1988), es decir, con el mayor grado de degradación y desestructuración del sistema dunar, en la zona más vulnerable del mismo.

En cuanto a las medidas de protección, la principal novedad reside en la reducción de la superficie del Parc Natural de la Península de Llevant, de la que también queda excluido el sistema dunar de sa Mesquida.

#### 4. Discusión

Analizado mediante el SIG y el Listado de Control la evolución espacial y temporal del sistema dunar de sa Mesquida, la principal conclusión a la que llegamos es que este se halla en una situación extremadamente delicada y que avanza hacia su total degradación si no se toman las medidas oportunas.

Para evidenciar a esta conclusión, analizaremos la evolución temporal de las principales categorías (ejes B, C y D) que mantienen un incremento del valor de los porcentajes desde 1956 hasta el año 2005 (fig. 5). Destaca especialmente el incre-

mento entre 1956 y 1983 para los ejes C y D, comenzando con un valor de cero hasta alcanzar el 60.4 y 52.1% respectivamente. A partir de esta fecha, los valores continúan incrementándose, pero de una forma más moderada, excepto para el eje C que alcanza valores superiores al 85% para el año 2005. A partir de 1990, todos los ejes superan valores del 50%.

Por su parte para el eje D, la gráfica muestra una menor inclinación a partir de 1990, lo que puede interpretarse que este factor (la presión de uso) se halla casi estabilizado. Es decir, con una presión de uso similar entre 1997 y 2005 el efecto negativo sobre la *foredune*, no se estabiliza como podría suponerse, si no que continúa incrementándose y queda reflejado en la curva del eje C. Así en 1973, el eje D es 20 puntos superior al eje C; sin embargo, a partir de esta fecha la tendencia se invierte, por lo que una determinada presión de uso es suficiente para deteriorar el sistema.

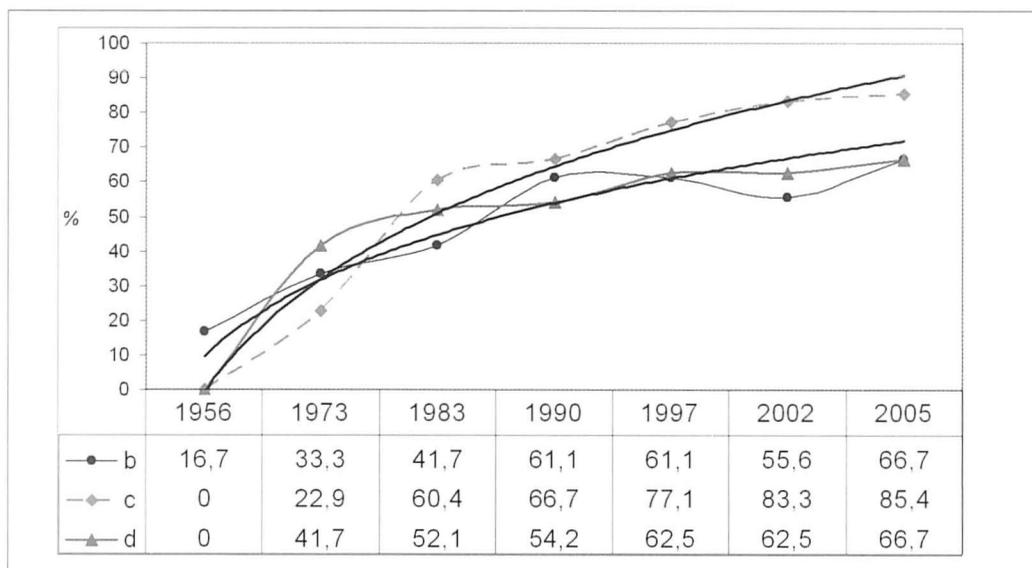


Figura 5. Evolución de los ejes B (condición de la playa), C (franja litoral) y D (presión de uso) siguiendo el Listado de Control.

Por lo que respecta a la evolución morfoecológica de la *foredune*, esta ha evolucionado desde el estadio más óptimo (estadio 1) hasta el penúltimo (estadio 4) en la clasificación de Hesp (1988) y con una tendencia clara hacia el más negativo (aunque el sector occidental de la *foredune* podría pertenecer a esta categoría).

La figura 6a resumiría la situación a la que se ha llegado hasta la actualidad. Así tenemos que a partir de 1973 comienza el proceso erosivo y no se detiene hasta la actualidad. A partir de 1983 (en tan solo 7 años) se pasa de forma consecutiva del estadio 2 al 3 en 1990 y al estadio 4 para los años 1997 y 2002. De no haber ningún tipo de intervención pasaremos irremediablemente hacia el estadio 5 en un breve espacio de tiempo, si las condiciones continúan como hasta ahora.

Esta gráfica puede hacerse extensible para el conjunto de las Islas Baleares (fig. 6b), donde tenemos numerosos ejemplos en

los que se ha pasado desde los estadios 2 y 3 hacia el más degenerativo (el 5), debido especialmente a la urbanización sobre los mismos sistemas dunares, por lo que su recuperación hoy por hoy es prácticamente imposible.

En ambas figuras podemos observar una curva inversa a partir del estadio 4. La evolución hacia la destrucción de la *foredune*, puede ser corregida en sentido contrario si ciertos condicionantes (revegetación, estabilización, reducción de la erosión eólica) tienen lugar (Hesp, 2002). Tampoco es probable que desde un estadio 5 se pueda alcanzar el 1 ó el 2. Esto significa, que a pesar del avanzado estado de degeneración de la *foredune*, aun cabe la posibilidad de su recuperación, si los planes y medidas de gestión son los adecuados y de este modo alcanzar estadios más cercanos al óptimo.

Así pues, la ausencia de cualquier medida de gestión encaminada a paliar los efectos erosivos, principalmente de origen

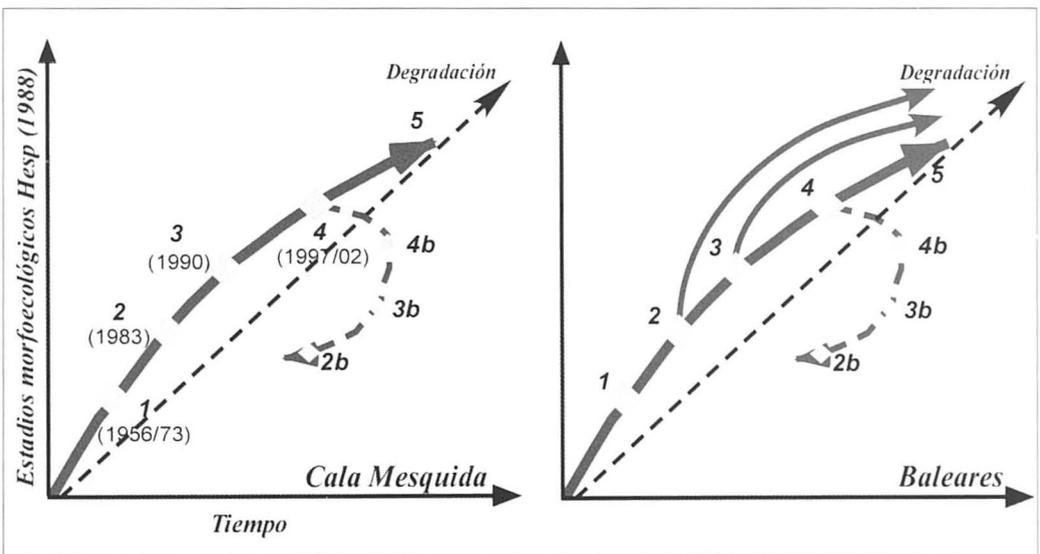


Figura 6. Evolución de las foredunes según los estadios morfoecológicos de Hesp (1988) en cala Mesquida (a) y propuesto para el resto de Baleares (b).

antrópico, no ha favorecido tampoco su regeneración, a pesar que desde hace varios años tanto vecinos como grupos ecologistas han hecho notar su voz poniendo de manifiesto la constante degradación e la playa y la duna.

No obstante solo el conocimiento preciso de su evolución y las causas que han provocado su degradación pueden ayudar a que tal situación pueda dar los resultados esperados.

## 5. Conclusiones

La gestión de las dunas litorales en ocasiones suele resultar difícil de aplicar debido a la falta parámetros cuantificables que nos permitan tener una base de actuación. El concepto de un índice semicuantitativo de vulnerabilidad que puede ser utilizado de forma espacial y temporal, constituye una buena herramienta de gestión.

El procedimiento descrito ha producido una valoración de la vulnerabilidad del sistema dunar de Cala Mesquida, que permite establecer un principio de acción para una mejor gestión de la zona. Este método permite a los gestores, una vez identificados aquellos aspectos que han dado lugar a esas alteraciones, centrar sus actividades en aquellas zonas más vulnerables.

La sistemática aplicación de este método a lo largo del tiempo permite conocer lo posibles cambios que han tenido y tienen lugar en el sistema, así como la posibilidad de ayudar a establecer una estrategia de gestión preventiva ante el posible impacto. Otro aspecto positivo de este método es el de poder establecer prioridades de gestión.

## Bibliografía

BODERE, J., CRIBB, R., CURR, R., DAVIES, P., HALLEGOUET, B., MEUR, C., PIROU, N. y WILLIAMS, A. (1994):

Vulnerabilié des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation. In Miossec, A. (Ed.), *Défense des côtes ou protection d l'espace littoral*. Cahiers Nantais, nº 41-42, págs. 197-201.

CORBÍ, A. (1990): Geomorfología del sistema dunar de Sa Mesquida (Capdepera) a l'illa de Mallorca. *II Jornades del Medi Ambient de les Balears*, págs. 40-41.

CURR, R., EDWARDS, E., KOH, A., WILLIAMS, A. y DAVIES, P. (1997): Analysis of Mediterranean sand dunes using digital imaging. *MedCoast '97*, págs. 811-820.

DAVIES, P., CURR, R., WILLIAMS, A., HALLÉGOUET, B., BODERÉ, J. y KOH, A. (1995): Dune management strategies: a semi-quantitative assessment of the interrelationship between coastal dune vulnerability and protection measures. In Salmon, A.; Berends, H. y Bonazountas, M. (Eds.), *Coastal management and Habitat Conservation*, págs. 313-331.

GARCÍA-MORA, M. R., GALLEGOFERNÁNDEZ, J. B., WILLIAMS, A. T. y GARCÍA-NOVO, F. (2001): A Costal Dune Vulnerability Classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal Coastal Research*, nº 17 (4), págs. 802-811.

HESP, P. (1988): Morphology, dynamics and internal stratification of some established *foredunes* in southeast Australia. *Sedimentary Geology*, nº 55, págs. 17-41.

HESP, P. (2002): Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, nº 48, págs. 245-268.

LARRANJEA, M., RAMOS, A. y WILLIAMS, A. (1999): Comparison of two checklist methods for assessment of coastal dune vulnerability. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, nº 15 (1-4), págs. 259-268.

OJEDA, J. (2000): Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la AGE*, nº 30, págs. 103-108.

SERVERA, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesi Doctoral, UIB, 2 vols.

WILLIAMS, A., DAVIES, P., CURR, R., KOH, A., BODERÉ, J., HALLEGOUET, B., MEUR, C. y YONI, C. (1993): A checklist Assesment of Dune Vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. *Coastal Zone'93*, págs. 3394-3408.

WILLIAMS, A., DAVIES, P., ALVEIRINHO-DIAS, J., PERIRA, A.,

GARCÓIA-MORA, C. y TEJADA, M. (1994): A re-valuation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia*, nº 8, págs. 179-182.

WILLIAMS, A., CURR, R., DAVIES, P., EDWARDS, E. y KOH, A. (1998): An innovative approach to integrated dune management. In Helveg, C. (ed) *Coastal dunes, management protection and research. Geological Survey of Demmark*, págs. 150-157.