

APROXIMACIÓN A LA MODELIZACIÓN DE LA DINÁMICA LITORAL DE LAS PLAYAS DE EL INGLÉS Y MASPALOMAS (GRAN CANARIA)

IGNACIO ALONSO BILBAO
IGNACIO MONTESEDOCA SÁNCHEZ
ALICIA VIVARES RIMÓN
JAVIER ALCÁNTARA CARRIÓ

INTRODUCCIÓN

La utilización de modelos numéricos aplicados a la simulación de la dinámica sedimentaria que tiene lugar en los depósitos litorales constituye una herramienta poco explorada en Canarias a pesar de la manifiesta representatividad que tienen estos ambientes en las islas. El interés que poseen estos modelos radica en su capacidad para prever los cambios que puede experimentar la posición de la orilla ante las variables físicas que rigen su evolución, de modo que nos brindan la oportunidad de identificar a medio y largo plazo la existencia de tendencias erosivas, acumulativas o, en su caso, de estabilidad sedimentaria. Este carácter predictivo, unido a la elevada calidad natural que suele encontrarse asociada a estos enclaves (valores ecológicos, paisajísticos,...) y a los que la legislación suele otorgar diferentes grados de protección, según los casos, hace de estos modelos

RESUMEN

En este trabajo se elabora un modelo numérico que simula el transporte longitudinal originado por el oleaje en las playas de El Inglés y Maspalomas. Para evaluar dicho transporte se caracterizaron las propiedades de los sedimentos, el clima marítimo y las variaciones de la posición de la orilla a partir de los fotogramas aéreos disponibles. El estudio realizado permitió identificar las tendencias de los distintos sectores del depósito, siendo erosiva en la Punta de La Bajeta, estable en Playa del Inglés y acumulativa en la Playa de Maspalomas. El uso de estos modelos constituye una herramienta de gran valor al servicio de la planificación y gestión de los depósitos sedimentarios costeros.

ABSTRACT

Littoral drift simulation in El Inglés and Maspalomas beaches (Gran Canaria). A numeric model has been developed to characterize the littoral drift in El Inglés and Maspalomas beaches. To evaluate the sediment transport we have characterized the sediment properties, offshore wave conditions and the shoreline changes determined from aerial photographs. This study allows the identification of three different beach sectors along the study area, where each one of them follows a distinct sedimentary pattern: In Punta de La Bajeta the model provides a tendency toward erosion, stable in Playa del Inglés and shoreline advance in Playa de Maspalomas. The use of these models constitutes a very useful tool in the management and planning of the littoral sedimentary environments.

FIGURA 1



Localización del área de estudio en el extremo meridional de la isla de Gran Canaria, en la que podemos observar el depósito sedimentario constituido por las playas del El Inglés y Maspalomas, así como el campo de dunas.

una potente herramienta que debe tenerse en cuenta a la hora de gestionar y planificar adecuadamente la conservación de estos espacios costeros.

En este sentido, el objetivo de este trabajo ha sido elaborar un modelo numérico que reproduzca el transporte longitudinal que es inducido por la acción del oleaje incidente en las playas de El Inglés y Maspalomas, al sur de la isla de Gran Canaria. Para ello se realizó un estudio sedimentológico de los materiales presentes en la franja intermareal, principal zona implicada en el transporte de deriva, así como un análisis del clima marítimo que determina su dinámica. Paralelamente, a fin de constatar las variaciones sufridas por la línea de costa a lo largo de las últimas décadas, se elaboró una comparativa fotogramétrica con los diferentes registros aéreos existentes y un seguimiento fotográfico de la orilla desde las instalaciones del Faro de Maspalomas.

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las emblemáticas playas de El Inglés y Maspalomas, situadas en el extremo meridional de la isla de Gran Canaria, constituyen una parte especialmente importante dentro del gran depósito sedimentario localizado en esta atractiva zona (figura 1). La combinación de multitud de elementos naturales, tales como el campo de dunas, el palmeral, el medio lacustre de la Charca de Maspalomas y las especies vegetales y animales presentes, endémicas muchas de ellas y otras en claro peligro de extinción (*Charadrius dubius*, *Charadrius alexandrinus*...), hacen de este enclave un espacio de enorme singularidad y belleza.

La confluencia de todas estas características motivaron desde hace ya mucho tiempo la inquietud por proteger todo este ecosistema y sus peculiaridades, de modo que fuera salvaguar-

dado íntegramente para el disfrute de las futuras generaciones. En la actualidad, toda la zona está catalogada como Área de Sensibilidad Ecológica, estando buena parte de ella, a excepción de la franja de playa, protegida bajo la figura de Reserva Natural Especial por el Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, por el que se aprobó el Texto Refundido de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias (B.O.C. nº60 del 15 de mayo de 2000). Por su parte, el preceptivo Plan Director que ordena la reserva vio la luz mediante la Orden del 12 de marzo de 1999 (B.O.C. nº51 de 26 de abril de 1999).

ANTECEDENTES

Dejando a un lado los estudios que se han centrado en el campo de dunas de Maspalomas, sector que queda fuera de los objetivos aquí propuestos, así como los que se han ocupado de los cambios paleoclimáticos, los estudios dedicados exclusivamente a la franja de playa, tanto emergida como sumergida, son muy escasos a pesar de la gran relevancia que posee la zona en cuestión. Apenas unos pocos trabajos son el escaso bagaje que a este respecto ofrecen los antecedentes científicos realizados hasta nuestros días. En ellos se incide de modo cualitativo en el comportamiento global que tiene lugar en el sistema, las líneas de flujo que siguen los sedimentos y la naturaleza de los mismos. Más concretamente, se advierte que en la playa de Maspalomas tiene lugar, fruto de su inestabilidad, una cíclica pérdida de arena desde finales de invierno hasta principios de la primavera, que se encuentra amortiguada por el aporte que realiza en el área el campo dunar, el cual actúa como despensa sedimentaria de dicha playa (Martínez, 1990). Según este autor, el material aquí erosionado es transportado en dirección a la Punta de la Bajeta, que junto con los aportes que llegan desde Playa del Inglés, se pierden conjuntamente por un cañón submarino existente en sus proximidades y que actúa a modo de sumidero de arena. En dicha punta, y relacionada con la ya aludida inestabilidad de la playa de Maspalomas, tiene lugar la formación de una flecha arenosa que se desarrolla paralela a la orilla hacia Playa del Inglés, dando origen a un lagoon durante la primavera. En la época de verano y otoño tanto Playa del Inglés como el borde exterior del lagoon se erosionan, colmatándose este último. La sucesión de estos procesos a lo largo del tiempo ha supuesto un avance de la orilla hacia el mar en la Punta de La Bajeta, hecho que se constató con las fotografías aéreas pertenecientes a tres vuelos realizados en 1962, 1977 y 1987 (Martínez, et al, 1989).

ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

Para estudiar los sedimentos del área de trabajo se establecieron un total de ocho estaciones de muestreo en la línea de orilla distribuidas a lo largo de las playas de San Agustín, Las Burras, El Inglés y Maspalomas (figura 2). La inclusión de las dos primeras estaciones obedeció a criterios que apuntan a que estos depósitos forman parte de una misma provincia morfodinámica (Martínez, 1990). En dichas estaciones se desarrollaron un total de cinco campañas de toma de muestras en los meses de junio y octubre de 1999 y enero, abril y agosto de 2000. Igualmente, se obtuvieron otras tres muestras sumergidas en una única campaña en febrero de 2000 pertenecientes a la franja litoral de las dos últimas playas citadas anteriormente, a fin de caracterizar los materiales ubicados en estos fondos. Todas las muestras fueron analizadas para determinar sus características granulométricas e identificar su variabilidad espacial y temporal. La técnica empleada en el análisis fue la de tamizaje en seco, empleándose una secuencia de tamices que abarcó el rango de -1.5ϕ a $+4.5\phi$, a intervalos de 0.5ϕ . Los parámetros granulométricos se calcularon mediante el método de los momentos (Friedman y Sanders, 1978).

Respecto al tamaño medio de grano, el 76% de las muestras se corresponden con arenas finas, el 17% son arenas muy finas y tan sólo el 7% están en el rango de arenas medias. En la figura 3 se observa que las estaciones 1, 2 y 8, situadas en los extremos del área de estudio, siguen la misma pauta de comportamiento, la cual es diametralmente opuesta a la de las estaciones 6 y 7. Por su parte, las estaciones 3, 4 y 5 pueden solaparse a uno u otro grupo, constituyendo una zona de transición entre las áreas más resguardadas (1, 2 y 8) y las más expuestas (6 y 7), habiéndose detectado una tendencia inversa entre las estaciones 3 y 5 respecto a la 4. Además, el sistema respondió consecutivamente y de forma contraria en dos períodos sucesivos, por lo que ofreció un marcado carácter estacional. Tal es así, que de octubre a enero en todas las estaciones, salvo la 6 y 7 donde se volvió más fino, el tamaño medio de grano se hizo más grueso, mientras que de enero a abril ocurrió justamente lo contrario. En los otros dos períodos, de junio a octubre y de abril a agosto, se dan situaciones intermedias debido a las estaciones 3, 4 y 5.

Los fenómenos descritos anteriormente son fruto de la conjunción de diversos factores en los que la orientación de la línea litoral y el grado de exposición de la misma a los agentes del clima marítimo juegan un papel crucial. Las estaciones 1 y 2 poseen la misma orientación y cierto grado de encajamiento por la configuración de la costa, mientras que la estación 8, además de estar protegida de los oleajes domi-



FIGURA 2

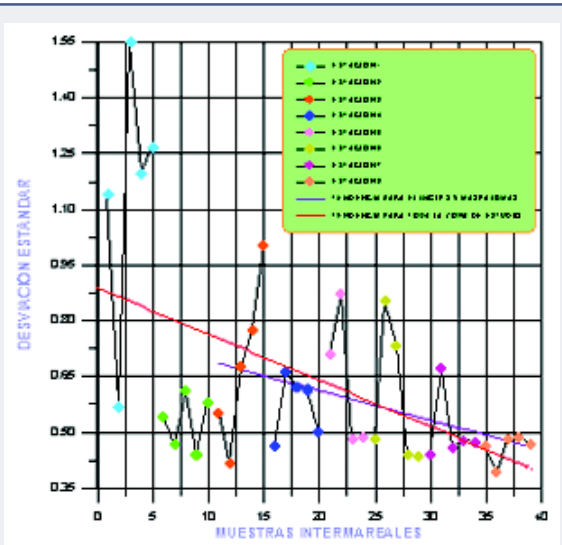
nantes procedentes del NE, se encuentra ligeramente resguardada al E por la propia configuración de la Playa de Maspalomas, mientras que al O por el afloramiento de cantos y bolos claramente observable en bajamar y, algo más lejos, por el espigón del faro.

Las mayores fluctuaciones en el tamaño medio de grano (figura 3) se han detectado en las estaciones 1 y 3, mientras que las menores en la 2 y 7. En la estación 1 la causa fue el fuerte temporal de lluvia que azotó la zona de estudio en enero de 2000, lo que provocó una importante escorrentía del barranco que terminó en la playa de San Agustín, donde se localiza esta estación. Como consecuencia de los materiales gruesos aportados por el barranco se originó un incremento del tamaño medio del orden de 1.4ϕ . En lo que respecta a la estación 3, la clara tendencia a perder finos mostrada desde el mes de octubre en adelante, hace que acabe siendo en agosto la más gruesa. Esta pauta en la estación 3 se explica por la relación que mantiene con las estaciones 4 y 5, en las que se dan transportes longitudinales estacionales de sentido alterno entre la estación 4 y sus vecinas, de modo que de junio a octubre el punto 3 ganó parte del material fino que perdió el punto 4 y de abril a agosto al contrario. Por su parte, la escasa variabilidad de la estación 2 evidencia su gran estabilidad, situada en una playa encajada y resguardada por apoyos laterales,



FIGURA 3

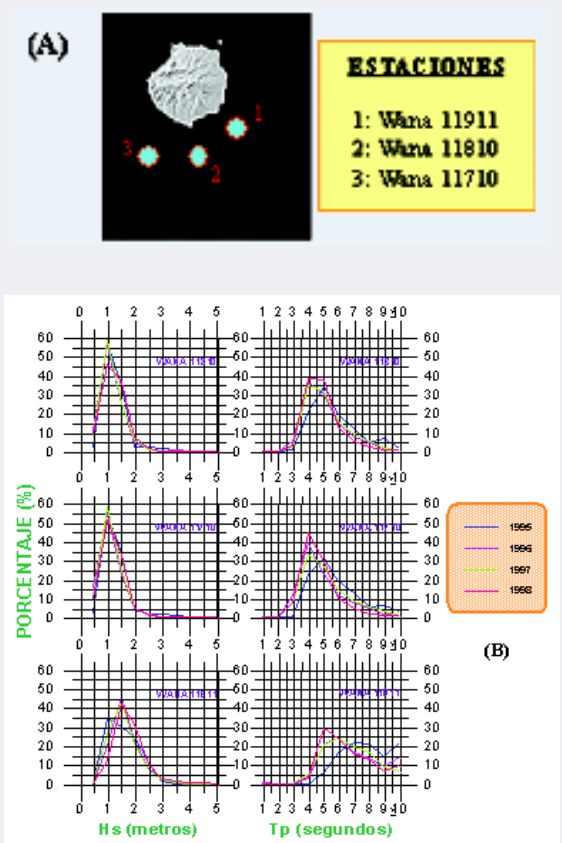
TABLA 4



Variabilidad observada en el parámetro de desviación estándar para las muestras recogidas, las cuales están ordenadas correlativamente por campaña (de junio 1999 a agosto 2000) para cada una de las distintas estaciones.

mientras que la estación 7, aunque sigue la pauta del área más batida, ello no parece razón suficiente para motivar oscilaciones de los valores del tamaño medio superiores a los observados. La explicación de este hecho recae en la aportación de arenas eólicas, bien clasificadas en tamaño, que lleva a cabo el campo dunar en el área de la estación 7, ya que ésta se encuentra en la trayectoria que siguen los sedimentos bajo el régimen de los vientos alisios, cuya frecuencia media mensual es del orden de veinte días (Martínez, *et al.*, 1986). Un aspecto que viene a corroborar este hecho es la distribución espacial que presenta al parámetro de desviación estándar (figura 4), en el que se observa un gradiente de peor a mejor grado de clasificación de las arenas conforme nos acercamos a la Playa de Maspalomas (estaciones 7 y 8). El análisis de este parámetro según la escala de Friedman (1962) reveló que el 51% de las muestras posee un grado de clasificación bueno, el 38.5% moderadamente bueno, el 15.4% moderado y tan solo una muestra, la correspondiente a la estación 1 tras el temporal de enero, presenta una clasificación pobre.

FIGURA 5



A) Localización de las estaciones oceanográficas de la Dirección General de Puertos y Costas.
 B) Distribución de las frecuencias de alturas de ola significativa y periodo de pico para el intervalo comprendido entre noviembre de 1995 y diciembre de 1998 en dichas estaciones.

CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE

Los registros de oleaje más fiables que se encuentran disponibles y que afectan a la zona de trabajo son los correspondientes al banco de datos oceanográficos de la Dirección General de Puertos y Costas, habiéndose utilizado los datos de tres de sus estaciones, las cuales están situadas en las proximidades del área que nos ocupa: Wana 11911 al E, Wana 11810 al SE y Wana 11710 al SW (figura 5A). El registro abarca 38 meses y corresponde al período de noviembre de 1995 a diciembre de 1998. Atendiendo al factor direccional, se observa que las estaciones 11710 y 11810 son muy parecidas, en las que las componentes NE y NNE son las predominantes con una frecuencia entre el 50% y el 70%. El resto de componentes se reparten equitativamente entre las direcciones pertenecientes al cuarto cuadrante (270°-360°) y los sectores N y ENE. Por su parte, la estación 11911 presenta una distribución ligeramente diferente, en el que las componentes NNE y N acaparan cerca del 80% de la frecuencia de presentación, seguidas muy de lejos por la NNW y NW.

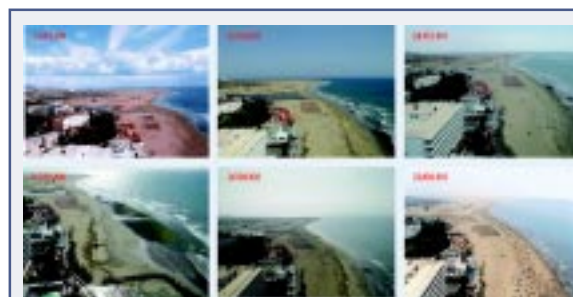
La distribución que siguen los parámetros de altura de ola y periodo se muestra en la figura 5B, donde se observa que la estación situada más al E (Wana 11911), y por tanto fuera del abrigo que representa la propia isla, presenta alturas de ola y periodos ligeramente superiores a las otras dos estaciones, lo cual implica una mayor capacidad energética del oleaje. En dicha estación las alturas de ola más

frecuentes oscilan entre 1 y 2 metros, no superando en ningún caso los 5 metros, mientras que los períodos predominantes se sitúan entre 5 y 6 segundos, aunque los registros =10 segundos son relativamente comunes. En las otras dos estaciones (Wana 11810 y Wana 11710), localizadas al S de la isla, los valores de altura de ola de mayor frecuencia son los de un metro y los períodos más abundantes se sitúan entre 4 y 5 segundos.

SEGUIMIENTO FOTOGRÁFICO DESDE EL FARO

En el período comprendido entre los meses de enero y agosto de 2000, se procedió a la realización de un seguimiento fotográfico desde la plataforma exterior de la torre del Faro de Maspalomas, en el que se llevaron a cabo seis campañas ante un estado de la marea lo más próximo posible a la bajamar. La intención de dicho seguimiento fue la de identificar posibles cambios que a menor escala pudieran observarse en el depósito sedimentario, centrándose la atención en dirección a la Punta de la Bajeta y hacia la playa de La Mujer y Melonerías. La figura 6 muestra el aspecto general que presentó la playa de Maspalomas a lo largo del período de seguimiento, destacando como uno de los rasgos más interesantes el de la formación de una barra litoral en la desembocadura de la charca a principios de enero como consecuencia de la conexión que hubo entre ésta y el mar a raíz del fuerte temporal acontecido a principios de ese mes. Como se puede observar a lo largo de la secuencia, conforme nos acercamos al verano, la superficie de la charca fue progresivamente reduciéndose hasta su nivel más bajo en agosto. También llama la atención el hecho de que el afloramiento rocoso que está presente en el frente de la playa de Maspalomas, claramente observable en la instantánea de mayo, no es visible en todas las fotografías. Este fenómeno evidencia que en esta zona tiene lugar un importante trasvase de sedimentos, que puede ser tanto en sentido longitudinal como transversal, y que es capaz de depositar el material en este sector para posteriormente trasladarlo a otras áreas.

La figura 7 contiene la secuencia obtenida en dirección a la playa de La Mujer, en la que se observa que este depósito de cantos rodados y bloques no siempre ofrece el mismo aspecto. En enero, marzo y, sobre todo, agosto, se comprobó que hubo una notable acumulación de arena en la playa emergida, cubriendo los cantos y alcanzando una altura cercana a la del paseo en la parte superior del perfil. Por su parte, en los meses de febrero, mayo y junio no se dio esta circunstancia, siendo los sedimentos removilizados



Secuencia tomada en dirección a la Punta de La Bajeta desde la torre del Faro de Maspalomas en el período de enero a agosto de 2000, en la que puede apreciarse la barra de arena situada en la desembocadura de la charca (14/01/00) y el afloramiento rocoso existente en el frente de la Playa de Maspalomas (05/05/00).

FIGURA 6

hacia la zona sumergida. Por tanto, la presencia estacional de arenas en este depósito, que a priori podría considerarse como marginal, revela su participación como un compartimento más en la dinámica sedimentaria del sur de la isla, aunque aún no sepamos si la arena aquí acumulada es transportada luego hacia otros lugares o si, por el contrario, se desplaza cíclicamente a lo largo del perfil sin implicar ningún flujo hacia otras zonas cercanas.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

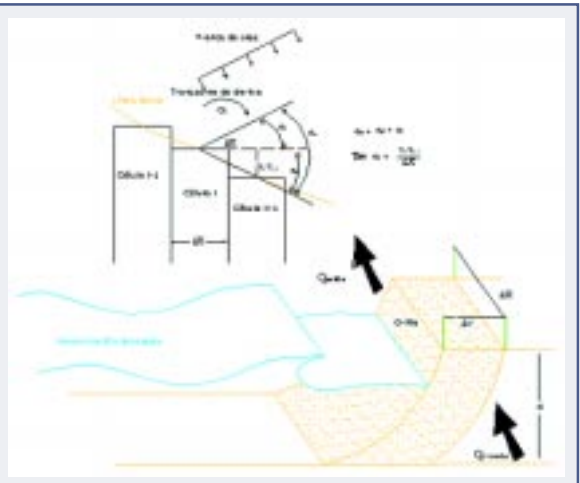
El modelo numérico utilizado se basa en un modelo de deriva litoral desarrollado por Komar (1983), que ha sido implementado para que tenga en cuenta, entre otros as-



Secuencia fotográfica obtenida desde el Faro de Maspalomas en dirección oeste, hacia la playa de La Mujer y Melonerías, en la que se observa la deposición estacional de arena en la parte superior del perfil de playa.

FIGURA 7

FIGURA 8



Representación del modelo celular utilizado para evaluar la tasa de deriva litoral. Obsérvese la geometría de una célula considerada, así como las relaciones trigonométricas entre el ángulo de aproximación del oleaje y la orientación de dos células contiguas.

pectos, las características del oleaje y de los sedimentos propios de la zona de estudio. Se trata de un modelo compartimentalizado en el que la costa está dividida en una serie de células de ancho Dx (figura 8), que en nuestro caso es de 25 metros. El transporte de material de unas células a otras determina los cambios en la posición de la orilla, de manera que dichos cambios se pueden expresar como el balance neto entre las entradas y salidas en cada una de las células. La variación de la posición de la orilla para una célula i viene dada por

$$Dy_i = (Q_{i-1} - Q_i) Dt / dDx \quad (1)$$

en la que Q_i es la tasa de deriva litoral desde la célula i hacia la célula $i+1$, Q_{i-1} es la deriva entre las células i e $i-1$, Dt es el incremento de tiempo transcurrido y d es un parámetro que relaciona el cambio volumétrico de sedimentos con el de la posición de la orilla, significando la profundidad hasta la cual el transporte de material es efectivo. Valores de $Dy_i < 0$ significa un retroceso de la orilla, mientras que $Dy_i > 0$ implica un avance de la misma. En algunos casos, además de la deriva litoral existen otras pérdidas o ganancias, las cuales pueden deberse a los aportes que efectúan las cuencas hidrográficas, erosión de acantilados, transporte mar afuera, extracciones de áridos o aportes eólicos. En tal caso, la ecuación (1) puede expresarse del modo

$$Dy_i = (Q_{i-1} - Q_i \pm Q_r) Dt / dDx \quad (2)$$

en la que Q_r representa una tasa neta que incluye todas esas ganancias y pérdidas. Los términos Q resultan del transporte longitudinal de arena por la acción del oleaje, agente considerado como el más importante a la hora de removilizar los sedimentos, habiéndose evaluado por Komar (1977) mediante la expresión empírica del tipo

$$Q_s = 6.85 (E Cn)_b \text{ sen } a_b \text{ cos } a_b \quad (3)$$

donde $(E Cn)_b$ es el poder energético del oleaje (watios/metro) y a_b es el ángulo que forman las crestas del tren de olas con la orilla, ambos en la zona de rotura.

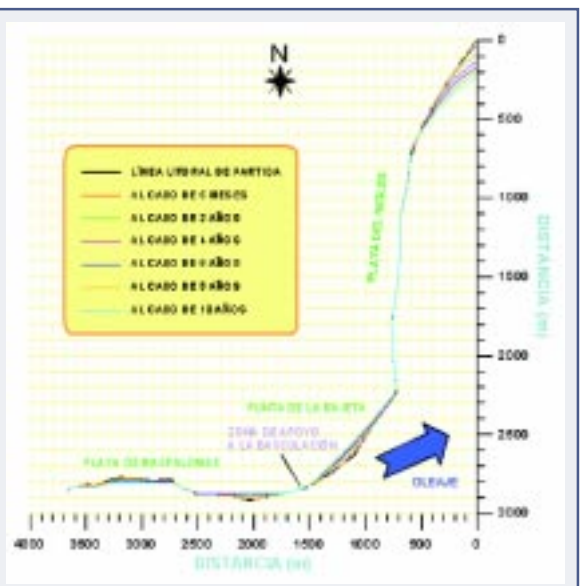
Para el cálculo del poder energético del oleaje en la zona de rotura se utilizó la aproximación de Lagrange para la velocidad de grupo, el criterio de rotura de Munk (1949) y la expresión propuesta por Komar y Gaughan, (1972) para la altura de ola en dicha zona. La consideración de las características de los sedimentos se ha llevado a cabo mediante los dos criterios definidos por Hallermeier (1980), en los que se establece el concepto de umbral de movimiento en el flujo de las partículas de arena y la profundidad de removilización a partir de la que se inicia el movimiento. La velocidad umbral de movimiento se define como

$$U_{\text{max}(-d)} = [8 (\tilde{n}_s / \tilde{n} - 1) g D_{50}]^{1/2} \quad (4)$$

en donde \tilde{n}_s es la densidad del sedimento, \tilde{n} es la densidad del agua, g la aceleración de la gravedad y D_{50} el tamaño medio de grano. La profundidad de removilización se obtiene de aplicar la ecuación desarrollada por Bagnold (1963) para la determinación de la velocidad de la onda en el fondo, de manera que

$$U_{\text{max}(-d)} T / H = \delta / \text{senh} (2\delta d / L) \quad (5)$$

FIGURA 9



Variaciones obtenidas con el modelo en la zona de estudio considerando una dirección de aproximación del oleaje SW, 8 segundos de período y 1.5 metros de altura de ola.

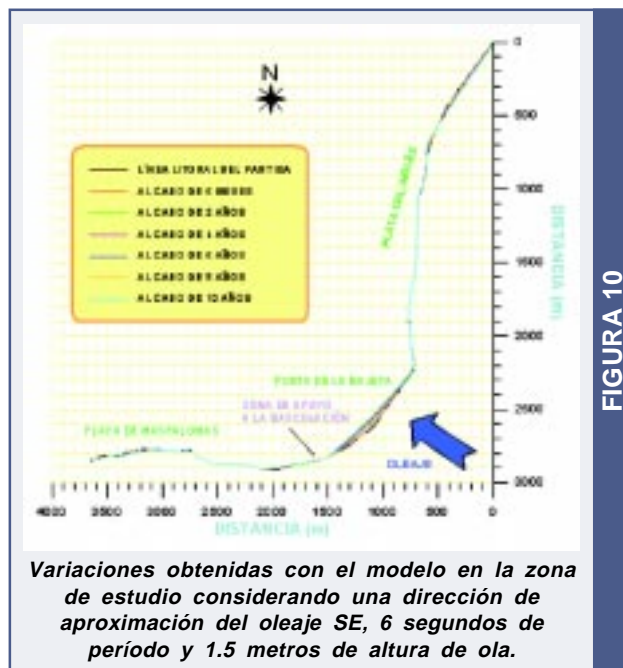
donde d es la profundidad de removilización y T , H y L son el período, la altura y la longitud de onda, respectivamente.

Dada la disposición de la batimetría de la zona, los resultados obtenidos en el análisis sedimentológico para el tamaño medio de grano se han introducido en el modelo promediando los datos de las muestras sumergidas en cada sector con las correspondientes a las estaciones intermareales, de modo que en la Playa del Inglés se emplearon las estaciones 3 y 4 junto a la muestra 61, en la Punta de La Bajeta las estaciones 5 y 6 con la muestra 62, mientras que en la Playa de Maspalomas se usaron las correspondientes a las estaciones 7 y 8 con la muestra 67. Finalmente, con estos fundamentos físicos se elaboró un algoritmo informático en lenguaje FORTRAN, denominado ORILLA, que contempla el acoplamiento de las tres zonas descritas, permite dar una salida gráfica a los resultados y localizar fácilmente, por comparación con la configuración de la costa de partida, los cambios que un determinado clima marítimo ha generado.

RESULTADOS DEL MODELO

ORILLA fue utilizado para realizar un conjunto de ensayos secuencial al objeto de comprobar los efectos que tienen sobre la posición de la línea litoral los distintos regímenes de oleaje a los que está expuesta la zona de estudio. Considerando que el intervalo de exposición abarca desde los 60° (aproximación desde el NE y ENE) hasta los 274° (aproximación desde el W y WNW), el análisis de los resultados obtenidos reveló lo siguiente:

- El sector de Playa del Inglés muestra una gran estabilidad bajo régimen de distintas direcciones de aproximación. Únicamente con oleajes del SE se aprecia una cierta acumulación de material (figura 10). Por el contrario, con oleajes tanto del E como del SW (figura 9) se observa una importante acumulación apoyada en el eje de ordenadas y que no es real, pues indica que gran cantidad de sedimentos se desplazan hacia la playa de Las Burras.
- El principal sector que sufre procesos de erosión es la Punta de La Bajeta, tanto con regímenes del SE como del SW (figuras 9 y 10).
- La playa de Maspalomas en su parte cóncava (sector occidental) tiende a ir rellenándose progresivamente con los sedimentos que le llegan principalmente desde la Punta de La Bajeta bajo oleajes del SW (Figura 9) y del NE, mientras que con oleajes del SE esta acumulación es menor y limitada al sector más occidental de la playa (figura 10).



Variaciones obtenidas con el modelo en la zona de estudio considerando una dirección de aproximación del oleaje SE, 6 segundos de período y 1.5 metros de altura de ola.

FIGURA 10

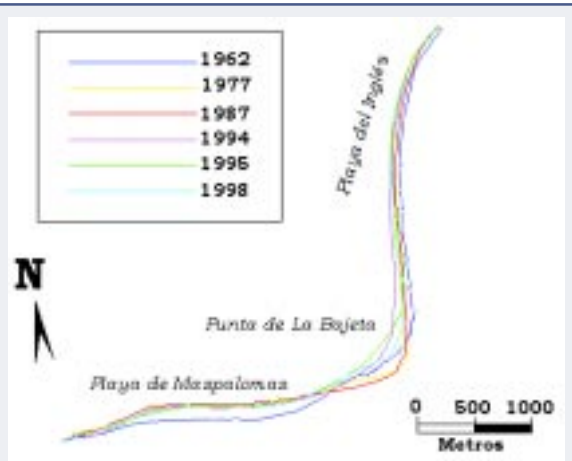


Variaciones obtenidas con el modelo en la zona de estudio considerando ocho estados de clima marítimo encadenados, de modo que cada costa se genera a partir de la obtenida del estado anterior. Los valores asignados a la variable tiempo se han ajustado con el fin de poder observar gráficamente los cambios producidos, los cuales también se muestran en la tabla adjunta.

FIGURA 11

Además de estos ensayos, se probó a encadenar diversos estados de clima marítimo para observar los cambios generados por procesos con características diferentes. Tal es el caso de lo que

FIGURA 12



Variación experimentada por la línea de orilla en las playas de El Inglés y Maspalomas obtenida a partir de la digitalización de los registros fotogramétricos existentes correspondientes al período de 1962 a 1998.

VALIDACIÓN DEL MODELO: COMPARATIVA FOTOGAMÉTRICA

Para validar los resultados obtenidos con el modelo numérico desarrollado, se analizaron los cambios que se han producido en la línea litoral a lo largo de los últimos años, empleándose las fotografías aéreas de los vuelos existentes hasta el momento, correspondientes a 1962, 1977, 1987, 1994, 1995 y 1998. Mediante un software de diseño asistido se eliminaron las diferencias de escala entre unos y otros, georreferenciándose entre sí los distintos fotogramas y digitalizando las diferentes líneas de costa. El resultado de este procedimiento se muestra en la figura 12, sobre la que hay que tener muy presente las diferencias estacionales y las existentes entre los niveles de la marea como consecuencia del momento en el que se efectuó cada fotograma (tabla 1). A partir de las marcas dejadas por el oleaje en la orilla se pudo establecer el estado de la marea en cada fotograma. Fruto de este análisis se ha descartado el fotograma de 1962, ya que al ser el único realizado durante la bajamar y además en pleno verano no es comparable con los demás. De los restantes fotogramas, todos ellos realizados a final del otoño e invierno, se han comparado aquellos con un mismo estado de la marea: 1977, 1994 y 1998, por estar en pleamar y los de 1987 y 1995 por estar a un nivel intermedio de marea.

TABLA 1

AÑO DEL VUELO	DÍA/MES	ESTADO	ESCALA MEDIA	ESTADO DE LA MAREA
1962	20/8	Cabida Inicial	1:16.000	Bajamar
1977	Marzo	Cabida Inicial	1:18.000	Pleamar
1987	Marzo	ORAPCAN	1:18.000	Intermedia
1994	Febrero	ORAPCAN	1:18.000	Pleamar
1995	3/12	ORAPCAN	1:18.000	Intermedia
1998	20/11	ORAPCAN	1:18.000	Pleamar

Relación de los vuelos aéreos existentes sobre la zona de estudio cuyos fotogramas han sido utilizados en la determinación de los cambios experimentados por la línea litoral.

TABLA 2

PERÍODO	PLAYA DEL INGLÉS	PUNTA DE LA BAJETA	PLAYA DE MASPALOMAS
1987/1995	-26.8 m.	-100.8 m.	+23.6 m.
1977/1994	-11.8 m.	-65.4 m.	+16.3 m.
1994/1998	+19.9 m.	+20.7 m.	-11.4 m.
Máximas fluctuaciones	48 m.	250 m.	60 m.

Variaciones promedio experimentadas por la posición de la orilla por metro lineal de costa para los tres períodos comparables entre sí. La última fila contiene las máximas oscilaciones detectadas en cada sector entre fotogramas comparables.

se muestra en la figura 11, en la que se han encadenado ocho estados de mar y se han diferenciado, a su vez, ocho zonas donde evaluar la pauta seguida. En dicha figura se puede ver la estabilidad de Playa del Inglés (zona B), mientras que los extremos del depósito (zonas A y H) alternan las ganancias y pérdidas con una tendencia mayoritariamente contraria. El sector occidental de la Playa de Maspalomas muestra su gran tendencia a la acreción (zonas F y G), mientras que la Punta de La Bajeta (zona C) y el sector oriental de la Playa de Maspalomas (zona E) son las que presentan las mayores tendencias erosivas.

A partir de la figura 12 se obtuvieron las máximas variaciones experimentadas en los distintos sectores de playa, así como la variabilidad promedio por metro lineal de costa que dichos sectores sufrieron en los tres intervalos de tiempo considerados (tabla 2). En Playa del Inglés la máxima oscilación fue de unos 48 metros en el área más próxima a la Punta de La Bajeta, permaneciendo bastante estable en el resto. En lo que respecta a dicha punta, las oscilaciones detectadas han sido las más altas de todo el depósito, donde el cambio alcanzó los 250 metros entre las costas de 1987 y 1995. Por su parte, en la Playa de Maspalomas los máximos valores no sobrepasaron los 60 metros, los cuales quedaron definidos entre las costas de 1987 y 1995.

Atendiendo a las variaciones medias por metro lineal de playa en los distintos sectores (tabla 2), se observa que tanto Playa del Inglés como Punta de La Bajeta presentan la misma pauta en los tres períodos de tiempo, la cual resulta ser contraria a la manifestada en Playa de Maspalomas. Si bien los órdenes de magnitud para El Inglés y Maspalomas son apenas de una veintena de metros, destaca la gran variabilidad de la punta, en la cual se llega a alcanzar el centenar de metros, y que nuevamente viene a corroborar la existencia de fuertes cambios en esta zona. Estos resulta-

dos se correlacionan bastante bien con los obtenidos con el algoritmo ORILLA, en el que Playa del Inglés resulta bastante estable, la Punta de La Bajeta se caracteriza por ser la zona que sufre los cambios más acusados y en la Playa de Maspalomas la costa tiende a avanzar hacia el mar. A este respecto hay que decir que en la Playa de Maspalomas no se ha identificado ninguna tendencia erosiva que se mantenga a lo largo del tiempo, como fue sugerido por Martínez, *et al.* (1989).

Es de destacar que a unos 2 km. al este del Faro de Maspalomas se pudo localizar un sector en el que las variaciones de la posición de la orilla son muy reducidas, en el que todas las líneas litorales, salvo la de 1962, se solapan. Esta zona coincide con la zona D de la figura 11, donde no se registraron cambios apreciables al utilizar el modelo numérico desarrollado, con independencia de la dirección y características del oleaje incidente. Esta zona se ha definido como una zona de apoyo a la basculación, ya que a la vista de las distintas líneas de costa -tanto fotográficas como las salidas del modelo-, éstas oscilan a uno y otro lado de dicha zona como respuesta a los cambios que tienen lugar en el clima marítimo.

Por último, cabe destacar que la gran variabilidad de la Punta de La Bajeta se debe en parte al desarrollo estacional de una flecha arenosa ya comentado en los antecedentes, y que se aprecia en el fotograma de 1977. También este fenómeno es parcialmente reproducido por el modelo ORILLA, que en la figura 11 simula la formación de este fenómeno en el penúltimo estado introducido.

LIMITACIONES DEL MODELO

El modelo numérico desarrollado en este trabajo permite reproducir no sólo la pauta general de funcionamiento de la línea de costa en los tres sectores principales de la zona de estudio -Playa de El Inglés, Punta de la Bajeta y Playa de Maspalomas-, sino también alguno de los rasgos morfológicos que se producen a menor escala. No obstante, es evidente que hay determinados cambios morfológicos que el modelo es incapaz de reproducir, como el avance de la línea de costa en la Punta de la Bajeta, dado que el modelo sólo simula la pérdida de material en esta zona. Ello se debe a una serie de factores que no han sido considerados, entre los que cabe destacar los siguientes:

- El transporte transversal a lo largo del perfil de playa.
- Las variaciones de la pendiente intermareal y submareal en cada uno de los sectores.
- Los procesos de asomeramiento y refracción del oleaje en las proximidades de la costa.
- Las corrientes litorales que puedan existir en la zona.
- La existencia simultánea de dos direcciones de transporte de deriva, lo que es determinante para que se produzca acumulación en la Punta de la Bajeta.
- La existencia de flujos de entrada y salida de sedimentos a las playas, lo cual es particularmente importante dada la interconexión existente entre éstas y el campo dunar.

CONCLUSIONES

A la vista de todo lo expuesto anteriormente, el desarrollo de este trabajo permite enunciar como conclusiones más importantes las siguientes:

- Las características granulométricas de los sedimentos existentes en las playas estudiadas revelan que se corresponden con arenas finas bien clasificadas. El mejor grado de clasificación observado en los materiales presentes en la Playa de Maspalomas ha puesto de manifiesto el aporte de arenas eólicas por parte del campo dunar en esta zona.
- La distribución espacial de las estaciones de muestreo ha permitido identificar transportes longitudinales en el sistema sedimentario constituido por las playas de El Inglés y Maspalomas, los cuales sufren variaciones estacionales que vienen determinadas por los cambios que se registran en el clima marítimo.
- El algoritmo ORILLA permite modelizar satisfactoriamente el transporte de deriva litoral inducido por oleajes de cualquier dirección de aproximación mediante la combinación de las variables sedimentológicas y del clima marítimo que participan en la dinámica de los fenómenos costeros.
- Los resultados obtenidos con ORILLA se ajustan a los derivados de la comparativa fotogramétrica realizada, habiéndose identificado una gran estabilidad en Playa del Inglés, fuertes cambios en la Punta de La Bajeta y una cierta tendencia a la acreción en Playa de Maspalomas.
- Las variaciones de la posición de la orilla a lo largo de las últimas décadas alcanzan los 50 metros en Playa del Inglés, los 250 metros en la Punta de La Bajeta y los 60 metros en la Playa de Maspalomas.

•GLOSARIO

Acreción: Proceso por el que un depósito sedimentario o sector de playa sufre la acumulación de sedimentos, de carácter estacional o no, constituyendo el proceso contrario al de erosión.

Intervalos de tamaño medio de grano: Según la clasificación Wentworth (1922) las arenas medias tienen un tamaño medio de grano comprendido entre 1ϕ y 2ϕ , las finas entre 2ϕ y 3ϕ , mientras que las muy finas entre 3ϕ y 4ϕ .

Intervalos de clasificación estándar: Según la

clasificación realizada por Friedman (1962), un grado de clasificación bueno corresponde a un valor de desviación estándar entre 0.35 y 0.5, moderadamente bueno entre 0.5 y 0.8, moderado entre 0.8 y 1.4 y pobre entre 1.4 y 2.0.

Unidades ϕ (phi): La escala ϕ es una de las más utilizadas a la hora de caracterizar el tamaño medio de grano. Se define como el logaritmo negativo de base 2 del tamaño de grano en milímetros, $\phi = -\log_2$ Diámetro, y al que McManus (1963) dio un carácter adimensional.

•BIBLIOGRAFÍA

Bagnold, R. A. (1963): *Beach and nearshore processes*. In *The Sea: the earth beneath the sea*. vol.3, M.N. Hill (ed.), 507-528. New York: Wiley-Interscience.

Coastal Engineers Research Center. (1984): *Shore protection Manual*, vol. I .U.S. Army Corps of Engineers. Dirección General de Puertos y Costas. Banco de datos oceanográficos en <http://www.puertos.es>.

Friedman, G. M. (1962): *On sorting, sorting coefficients and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones*. *J. Geol.*, 70, 737-753.

Friedman, G. M. y Sanders, J. E. (1978): *Principles of sedimentology*. John Wiley y Sons, New York. 792 pp.

Hallermeier, R. J. (1980): *Sand motion initiation by water waves: Two asymptotes*. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Div.*, 106 (WW3), pp. 299-318.

Komar, P. D. (1977): *Modeling of sand transport on beaches and the resulting shore line evolution*. In *The Sea : marine modeling*. vol.6, E.D. Goldberg, I.M. McCave, J.J. O'Brien, and J.H. Steele (eds.), 499-513. New York: Wiley-Interscience.

Komar, P. D. (1983): *Computer models of shoreline changes. Handbook of Coastal processes and Erosion*. CRC Press.

Komar, P. D. (1985): *Computer model of shoreline configuration: headland erosion and the graded beach revisited. Models in geomorphology*. Michael J. Woldenberg (ed). Allen &Unwin.

Komar, P. D. and Gaughan, M.K. (1972): *Airy wave theory and breaker height prediction*. Proc.13th Conference on Coastal Engineering, pp. 405-418.

Krumbein, W. C. (1934): *Size frequency distribution of sediments*. *J. Sed. Petrol.*, vol. 4, pp 65-77.

Martínez, J.; Carpio, P.; Gómez, M.; Hernández, T. y González, A. J. (1986): *Dunas de Maspalomas: Geología e impacto del entorno*. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. 151 pp.

Martínez, J.; Rosario, M. del; Cárdenes, M.(1989): *La evolución morfodinámica de la Punta de la Bajeta, en la Playa de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España)*. IX Bienal de la R.S.E.H.N. Actas de las Jornadas. Sevilla. pp. 235-243.

Martínez, J. (1990): *La provincia morfodinámica de Morro Besudo-Faro de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España): conocimiento y comprensión de sus procesos geomorfológicos y sedimentarios para la planificación y gestión de este litoral*. I Reunión Nacional de Geomorfología. Teruel. pp. 351-363.

McManus D. A. (1963): *A criticism of certain usage of the phi notation*. *J. Sed. Petrol.*, vol. 33. pp. 670-674.

Munk, W. H. (1949): *The solitary wave theory and its applications to surf problems*. New York Acad. Science Annals, pp. 51-376.

Naranjo Rodríguez, R. (1999): *Maspalomas Espacio Natural*. Concejalía de Turismo del Excmo. Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana. 365 pp.

Short, A. D. (1980): *Beach response to variations in breaker height*. Proc. 17th Int. Coastal Eng. Conf., ASCE, Sydney, pp. 1016-1035.

Wentworth C. K. (1922): *A scale of grade and class terms for clastic sediment*. *J. Sed. Petrol.*, vol. 30. pp. 377-392.

Wright, L. D., May, S. K. and Short, A. D. (1984): *Beach and surf zone equilibria and time response*. Proc. 19th Int. Conf. On Coastal Eng., ASCE, Houston, pp. 2150-2164.

•BIOGRAFÍA

Ignacio Alonso Bilbao

Doctor en Ciencias del Mar por la ULPGC y Profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Física, impartiendo docencia en la Facultad de Ciencias del Mar de la ULPGC en la rama de Geología Marina. Autor de diversos artículos de investigación publicados en revistas nacionales e internacionales, así como investigador principal de diversos proyectos de investigación ⁽¹⁾.

Ignacio Montesdeoca Sánchez

Licenciado en Ciencias del Mar por la ULPGC, ha participado desde 1994 en diversos proyectos de investigación sobre Geología Marina desarrollados en el Departamento de Física de la ULPGC. Así mismo, ha realizado tareas de asesoramiento técnico en diversos estudios sobre el medio litoral, tanto para empresas como para organismos públicos. Posee en su haber dos másters, uno en Gestión Medioambiental y otro en Evaluación de Impacto Ambiental ⁽²⁾.

Alicia Vivares Rimón

Licenciada en Ciencias del Mar por la ULPGC, fue becaria de colaboración en el área de Geología Marina del Departamento de Física de la ULPGC durante el curso 1998-99. Ha colaborado activamente en el desarrollo y ejecución de diversos proyectos de investigación desarrollados en dicho departamento ⁽²⁾.

Javier Alcantara Carrió

Doctor en Ciencias del Mar por la ULPGC y actualmente es Profesor Visitante en el Dpto. de Geociencias Marinas y O. T. de la Universidad de Vigo. Está especializado en aspectos de dinámica eólica y dunar, siendo autor y coautor de diversos trabajos de investigación publicados en revistas nacionales e internacionales ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Dpto. de Física, Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Apto. 550, 35080 Las Palmas.

⁽²⁾ Facultad de Ciencias del Mar, Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Apto. 550, 35080 Las Palmas.

⁽³⁾ Dpto. Geociencias Marinas y O.T., Univ. Vigo, Apto. 874, 36200 Vigo (Pontevedra)

Este trabajo ha sido patrocinado por:

IFA CANARIAS, S. A.