

# Cartografía dinámica costera del Parque Nacional de Doñana

Ricardo Díaz-Delgado

*Laboratorio de SIG y Teledetección de la Estación Biológica de Doñana-CSIC.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de dunas móviles del P.N. de Doñana ocupa unos 60 km<sup>2</sup> y se desarrolla sobre una flecha litoral que, desde el máximo transgresivo flandriense (6500 BP), ha ido progresivamente cerrando la antigua bahía asociada a la desembocadura del Guadalquivir (Lario et al, 2002). En la actualidad ocupa un frente costero de mas de 20 km y se extiende hacia el interior hasta aproximadamente 4 km. La estructura general del complejo se define a través de diferentes trenes de dunas transgresivas, con nítidos frentes de avance en el sentido de los vientos dominantes (SO-NE con carácter general), y depresiones interdunares que se intercalan entre los anteriores, separándolos unos de otros. La totalidad del sistema de dunas móviles está integrado por las unidades de duna costera (*foredune*), trenes de dunas transgresivas (*transgressive dune ridges*) y depresiones interdunares (*slacks*).

El sistema costero del PND presenta una dinámica muy activa dada la influencia oceánica en la morfología de la línea de costa y en el desarrollado sistema dunar (Ojeda y Vallejo 2003). El retroceso y avance de la línea de costa puede ser cuantificado a lo largo del tiempo en función de la velocidad de este proceso. En las últimas décadas se ha constatado un avance entre Mazagón y la Torre del Loro, y una retirada de la misma entre Matalascañas y Sanlúcar de Barrameda, originando en este último sector una serie de playas colgadas que aumentan en número hacia la desembocadura del Guadalquivir.

Las nuevas tecnologías (GPS, restitución fotogramétrica, Lidar, etc.) posibilitan la obtención de parámetros morfométricos de forma precisa, rápida y repetitiva para extensas áreas (Ojeda, 2000). La fotogrametría y las imágenes de teledetección, ambas con carácter retrospectivo, son una herramienta esencial para el análisis dinámico de estos espacios (Brown and Arbogast, 1999; Judge et al, 2000). Así, la teledetección permite discriminar los sistemas de dunas móviles dada la característica respuesta espectral de la arena. De esta forma el avance y tendencia general del sistema dunar y los corrales (áreas interdunares cubiertas por *Pinus pinea*) puede ser cuantificado a través una serie temporal de escenas sobre el área de interés mediante previa normalización radiométrica afín de evitar problemas de calibración.

La metodología planteada utiliza la banda 7 de los sensores Landsat TM y ETM+ (2.08 - 2.35 µm) basados en la óptima discriminación espectral que existe en esta banda entre el mar y la playa (margen y río), entre las dunas y los corrales y entre arenas y arcillas cubiertas por vegetación (White y El Asmar, 1999).

El análisis de los cambios llevado a cabo en estos protocolos se efectuó para periodos de cada aproximadamente 5 años que se corresponde con la frecuencia establecida en las

prescripciones técnicas del proyecto. No obstante, se aplicaron también a fechas anteriores con objeto de determinar cambios sustanciales en las dinámicas examinadas en periodos más extensos y poder así valorar la idoneidad de las metodologías.

La fecha de referencia que constituye el origen de análisis para todos los seguimientos de este protocolo es el 25 de agosto de 1984, año de la primera imagen Landsat TM disponible para Doñana.

## 2. OBJETIVOS

El propósito general es establecer un protocolo metodológico de seguimiento de dinámica costera y dunar sencillo, claro, conciso y que sea repetible para poder cumplir los siguientes objetivos.

- Controlar la dinámica de la línea de costa y la morfología dunar a escala 1:100000.
- Evaluar la velocidad de avance de las dunas, así como la variación en superficie y morfológica de los diferentes ecosistemas asociados a ella a escala 1:100000.
- Evaluar los procesos de regresión/transgresión de la línea de costa.
- Evaluar la velocidad con que se producen estos fenómenos, y su relación con las actividades humanas en la zona (dragados, tráfico fluvial, etc) que ayuden a la prevención y gestión.
- Orientar las actuaciones restauradoras que en cada caso procedan

Protocolo para el seguimiento de dinámica de la línea de costa y playa

Para la discriminación de la línea de costa deben calcularse los coeficientes de mareas estimados para cada fecha de adquisición de la serie de escenas comparadas con objeto de tener en consideración el efecto mareal en la estima de la línea de costa. El cálculo de los coeficientes de marea se realiza con el software wxtide32 (<http://wxtide32.com/>).

A continuación se detalla secuencialmente el proceso metodológico para la obtención de las líneas de costa:

- Segmentación de la banda 7 empleando como valores mínimo y máximo de reflectividad 0-0.05. Estos valores se corresponden con los valores de reflectividad media del mar calculadas para la serie. El mínimo de población de píxeles usado para pertenecer a un segmento es de 100 y el número de píxeles a considerar para la conectividad de los segmentos es 8.
- Generación de la máscara de mar/terra (línea de costa) a partir del valor asignado por la segmentación al mar.
- Aplicación de un filtro de moda con ventana de convolución de 3x3 para eliminar píxeles con valores anómalos.
- Vectorización de la máscara resultante.

### 3. LOCALIDADES (PUNTOS DE REFERENCIA)

Una vez obtenidas las cartografías de línea de costa para cada fecha (Figura 1), se procede a estimar la distancia con respecto a los puntos de referencia en la costa siguiendo un rumbo fijo. Los puntos de referencia escogidos se distribuyen a lo largo de toda la costa del parque nacional y sus coordenadas figuran en la Tabla 1. Estos puntos se corresponden a estructuras de origen humano que se mantienen fijas en el tiempo (disponibles en <http://mercurio.ebd.csic.es/seguimiento/>).

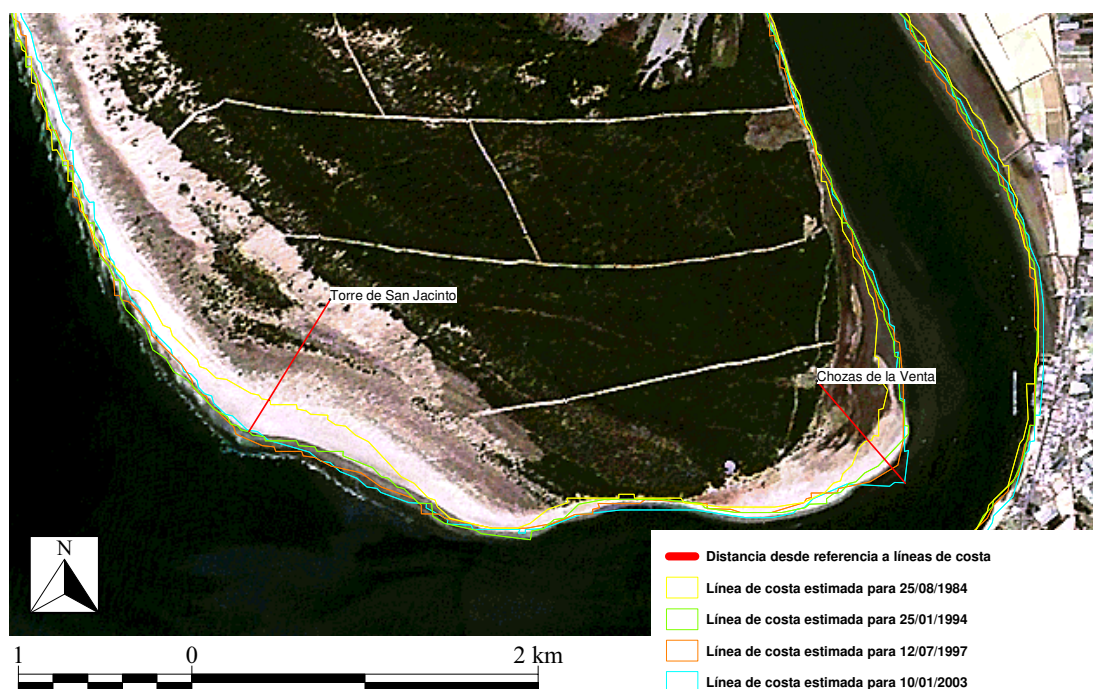


Figura 1: Detalle de la dinámica de la línea de costa en la Punta del Malandar.

Tabla 1: Localización geográfica de los puntos de referencia y rumbos desde el Norte geográfico para el seguimiento de la dinámica costera. Coordenadas en proyección UTM huso 30 con datum European 1950 para España y Portugal obtenidas mediante GPS diferencial con corrección post-proceso.

Toponimia	X	Y	Rumbos N (º)
Chozas de la Venta	201152.50	4078517.50	139.21
Torre San Jacinto	198342.50	4078987.50	121.66
Cuartel del Inglesillo	196413.75	4081478.75	167.45
Torre Zalabar	195097.50	4086692.50	162.57
Torre Carbonero	191152.60	4093224.43	122.55
Chozas de los Pescadores	188217.50	4096822.50	142.22

Los rumbos se establecieron con idea de maximizar las distancias indicadoras de las tendencias en los cambios de la línea de costa.

#### 4. CALENDARIO

Las escenas empleadas para la validación deben ser escogidas en función de los valores similares de coeficiente de marea calculados para la hora de pasada del satélite (10:30 AM UTC) y el periodo de tiempo transcurrido entre ellas ajustándose a la frecuencia quinquenal requerida en las prescripciones técnicas.

#### 5. MATERIAL

Los métodos aplicados emplean como fuente de datos las imágenes de reflectividad corregistradas y normalizadas obtenidas aplicando los protocolos auxiliares para el tratamiento de la serie temporal de imágenes de Landsat TM y ETM+, para adquisición de datos de campo como verdad-terreno (necesidad de GPS).

#### 6. RESULTADOS

Las fechas de las escenas de satélite se escogieron tal y como establecen los protocolos, en función del coeficiente mareal (comparables) y el periodo de años entre ellas (Tabla 2).

Los periodos entre escenas son aproximadamente 10, 5 y 3 años, entre los cuales se aprecian cambios importantes en la línea de costa. La tabla de resultados muestra para cada Punto de Referencia en las filas, y para cada fecha analizada en las columnas, las distancias totales entre la línea de playa en cada fecha y cada punto de referencia. Se ofrece también una tasa media anual de avance o retroceso en la línea de costa y en consecuencia un campo acerca del carácter progradante o regresivo del proceso. Además se ofrece la tabla con las coordenadas de las localizaciones de los puntos de referencia y los rumbos con orientación Norte y la tabla con los coeficientes mareales y el periodo de años entre las escenas comparadas.

Tabla 2: Fechas escogidas para la comparación de línea de costa y sus coeficientes de marea estimados para la hora de paso del satélite (10:30 AM UTC). Se muestran así mismo el periodo de años entre las escenas y los coeficientes mareales máximo y mínimo registrados para toda la serie.

<b>Fecha de la escena</b>	<b>Coefficiente de marea (m)</b>	<b>Periodo de años</b>
25/08/1984	1.93	
25/01/1994	1.85	9.42
12/07/1997	1.75	3.46
10/01/2003	1.86	5.50
Máximo serie	2.37	
Mínimo serie	0.29	

Los resultados indican un importante proceso de transgresión en la Punta del Bajo derivado de la acumulación de sedimentos en la zona y una no menos importante tasa de erosión en la playa del norte del parque que encuentra su máximo a la altura de Torre Zalabar. Los valores

parecen haber aumentado con respecto a los ofrecidos por Menanteau (1979) en el retroceso a la altura de Torre Carbonero de 88 m/siglo y en la progradación a la altura de Torre San Jacinto de 105 m/siglo y ser similares en Torre la Higuera con una tasa estimada de 70 m/siglo (muy próxima a Choza de los Pescadores). Los procesos dominantes siguen siendo los mismos.

Los resultados brutos se acompañan de la cartografías completas de la línea de costa del Parque Nacional de Doñana publicadas para cada fecha en el Servidor de Cartografía Digital de Doñana (<http://mercurio.ebd.csic.es/seguimiento>). Además se incluyen los límites mareales derivados de la cartografía de costa efectuada para las escenas con los coeficientes mareales máximo y mínimo de la serie que permiten determinar el ancho de playa. También se incluye la digitalización a escala 1:5000 sobre las ortofotos aéreas en pantalla de la línea de contacto entre la duna costera (foredune) y la playa alta (backshore) con objeto de determinar su localización a nivel subpixel en las imágenes.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, D.G y Arbogast A.F. 1999. Digital photogrammetric change analysis as applied to active coastal dune in Michigan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65(4):467-474.
- Judge, E.K., Garriga, C.M. y Overton, M.F. 2000. Topographic analysis of dunes volume and position, Jockey's Ridge State Park, North Carolina. *Shore and Beach*. 68(4):19-24.
- Lario, J., Zazo, C., Goy, J.L, Dabrio, C., Borja, F., Silva, P.J., Sierro, F.J., Gonzalez, A., Soler, V. y Yll, E. 2002. Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain). *Quaternary International*, 93-94: 171-176.
- Menanteau, L. 1979. *Compte rendu des journées sur l'aménagement et la protection du littoral* (Madrid, les 2-5 mai 1978). *Mélanges de la Casa Velázquez*, 15 :615-622.
- Ojeda, J. 2000. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30:103-118.
- Ojeda, J. y Vallejo, I. 2003. El empleo de los modelos digitales del terreno (MDTs) en la caracterización geomorfológica del sistema de dunas móviles del Parque Nacional de Doñana. In *Resúmenes de la II Reunión Nacional Geomorfología Litoral*. Santiago de Compostela. Universidad de Santiago de Compostela. Pp. 21-27.
- White, K. y El Asmar, H.M. 1999. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta. *Geomorphology* 29 1999 93–105.