

La flecha de El Rompido: análisis morfométrico y modelos de evolución durante el periodo 1943-1991

J. OJEDA ZUJAR e I. VALLEJO VILLALTA

*Grupo de Investigación: Ordenación del Litoral y Tecnologías de Información Territorial.
Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla.
C/ María de Padilla s/n. Sevilla 41004*

Resumen: La flecha de El Rompido es una formación litoral situada en la costa de Huelva (España), caracterizada por elevadas tasas de crecimiento longitudinal. En este artículo se proponen dos modelos que explican su evolución reciente para el periodo 1943-1991. Para formular estos modelos se han estudiado las modificaciones morfológicas en la propia flecha, así como en las playas y formaciones intermareales asociadas, al funcionar todos estos elementos de una forma interrelacionada como un sistema unitario. Hasta 1980, el crecimiento longitudinal (30-60 m/año) de la flecha emergida constituye el principal cambio morfológico del sistema. A partir de esta fecha el modelo cambia: la flecha reduce su crecimiento (8 m/año) y las principales variaciones morfológicas se centran en las formaciones intermareales que aumentan su superficie (un 290%) y progradan hacia levante (80-90 m/año). La utilización de diferentes fuentes de información (cartografía, fotografías aéreas e imágenes de satélite) y su tratamiento en un Sistema de Información Geográfica ha facilitado su análisis integrado y la cuantificación de cambios volumétricos y superficiales.

Palabras clave: flecha litoral, cambios volumétricos y superficiales, modelos evolutivos, SIGs y teledetección.

Abstract: El Rompido spit is a sandy littoral body placed on the coast of Huelva (Spain). Previous studies have stated high rates of longitudinal progradation. Here, two behaviour-related models have been identified in its recent evolution (1943-1991). These models are based on the study of morphometric responses of the spit body, along with beaches and sandy intertidal flats associated with it as an integrated system. Until 1980 the spit longitudinal progradation (30-60 m/year) was the main morphological response in the system. Since this date, the model changes: the spit progradation decreases (8 m/year) and the main morphological responses involve the intertidal flats (ebb-tidal deltas), which increase their area (290%) with a clear eastern progradation (80-90 m/year). Different kinds of data (maps, photos and satellite images) have been integrated in a GIS environment to facilitate the evaluation of superficial and volumetric changes and mapping purposes.

Key words: littoral spit, superficial and volumetric changes, behaviour-related models, GIS and remote sensing.

Ojeda Zújar, J. y Vallejo Villalta, I. (1995): La flecha de El Rompido: modelos de evolución durante el periodo 1943-1991. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (3): 229-237.

La flecha litoral de El Rompido constituye un ejemplo representativo del conjunto de formaciones arenosas litorales que caracterizan a la costa onubense. Esta costa se prolonga desde el estuario del Guadiana, en la frontera portuguesa, hasta la desembocadura del Guadalquivir (Fig. 1). Se trata de una costa baja, arenosa y sometida a un régimen mareal semidiurno, cuyo rango medio de marea (2,15 m según Borrego y Pendón, 1989) la caracteriza como una costa mesomareal. Los parámetros del oleaje, con una altura media para la ola significativa ($H_{1/3}$) de 0,76 m., la catalogan como una costa de baja/media energía, con presencia de temporales del suereste, pero de escasa frecuencia (10 %), y un oleaje dominante del tercer cuadrante (Borrego et al, 1993). Estas características del clima marítimo, en combinación con el perfil lon-

gitudinal de la costa, favorecen la presencia de una deriva litoral dominante que moviliza los sedimentos de oeste a este. En este contexto regional se sitúa la flecha de El Rompido, una formación arenosa asociada a la desembocadura del río Piedras, al cual obliga a incurvarse hacia el este. Con una longitud de 13 km, define una significativa unidad morfológica que ha evolucionado históricamente desde un clásico sistema de islas barrera (activo en el siglo XVIII) a la flecha litoral de nuestros días (Dabrio, 1982). La deriva litoral dominante hacia levante le imprime un fuerte dinamismo que la ha hecho progradar históricamente con elevadas tasas de crecimiento longitudinal (CEEPYC, 1979; Dabrio et al, 1982; Medina, 1991; Borrego et al, 1992).

La interacción de esta deriva litoral con las corrientes

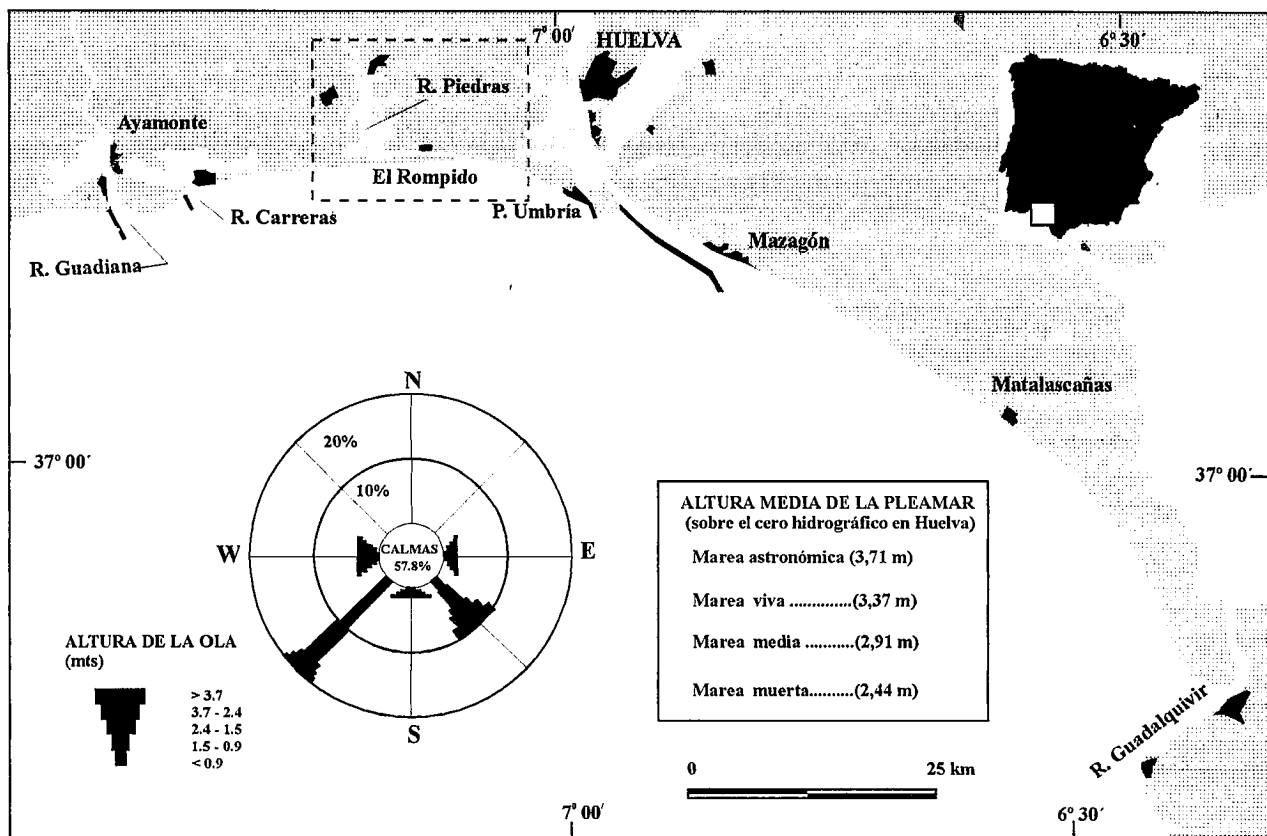


Figura 1.- Localización y parámetros hidrodinámicos básicos del área de estudio.

de marea y las descargas fluviales en el estuario del río Piedras, se plasma en una especial conformación morfológica (Fig. 2), no sólo de la flecha litoral emergida, sino también de las formaciones arenosas intermareales asociadas al estuario del río Piedras (en la actualidad un delta de reflujo “ebb-tidal delta”- debido a la escasa magnitud del caudal del río, por la regulación de su cuenca) y

de las playas adyacentes que padecen alternativamente procesos de acumulación y erosión según la ubicación de los elementos anteriores. El análisis diacrónico de la evolución solidaria de todos estos elementos, que funcionan como un sistema unitario, ha sido escasamente estudiado con anterioridad desde esta perspectiva, ya que los trabajos previos han incidido mayoritariamente en la

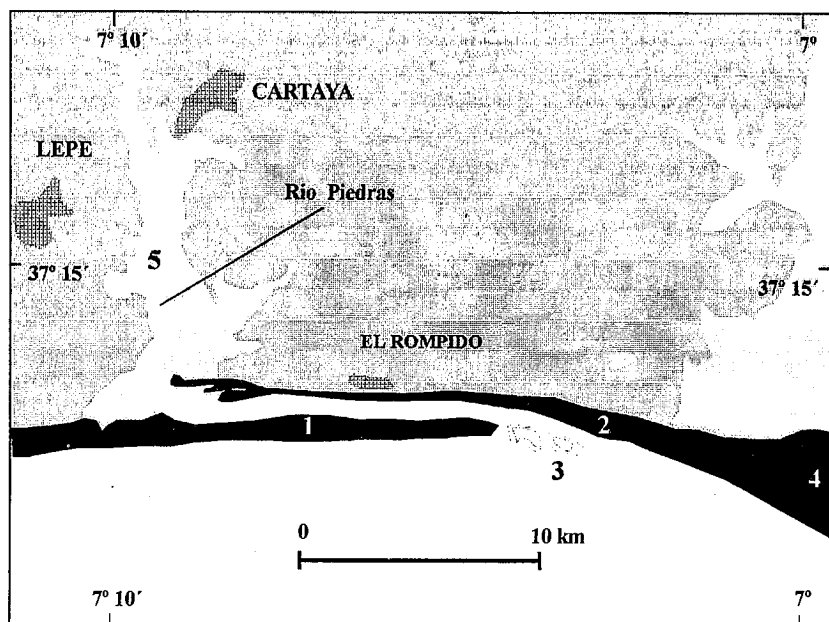


Figura 2.- Unidades y formaciones asociadas a la Flecha de El Rompido: 1: Flecha litoral. 2: Playas adyacentes. 3: Formaciones arenosas intermareales. 4: Flecha de Punta Umbría. 5: Marismas del río Piedras.

evolución de la flecha litoral emergida y, en menor medida, en el estudio de los otros dos elementos (formaciones intermareales y playas adyacentes).

Por todo ello, los objetivos de este artículo se centran sobre dos aspectos:

1/ Realizar un análisis volumétrico sobre la playa submareal (shoreface) asociada al extremo distal de la flecha, para dos fechas (1943 y 1981) en las que se disponía de un levantamiento batimétrico detallado. El resultado de este análisis permitirá constatar empíricamente la intensidad del transporte sedimentario que alcanza el extremo distal de la flecha, así como revelar el importante efecto de sumidero que ha ejercido su progradación histórica.

2/ Caracterizar y definir dos “modelos de evolución” que se han sucedido en la historia más reciente de este sector litoral: uno, desde su configuración como flecha litoral a finales del siglo XVIII, hasta comienzos de los años ochenta; y otro, a partir de esta fecha hasta 1991, el cual probablemente continúe hasta la actualidad.

Metodología

Para cubrir estos dos objetivos se han utilizado, de forma integrada, diferentes métodos y técnicas de trabajo:

1/ El análisis volumétrico se ha llevado a cabo a través de la elaboración de sendos modelos digitales de terreno (MDTs), a partir de la información batimétrica recogida en dos “parcelarios” suministrados por el Instituto Hidrográfico de la Marina para las fechas 1943 y 1981 (escalas 1/15.000 y 1/25.000 respectivamente). Las características de estos documentos, donde la información batimétrica se ciñe a las zonas sumergidas; es decir, inferiores al cero hidrográfico, hacen que esta evaluación sea parcial. Se trata, por lo tanto, de cálculos volumétricos centrados exclusivamente en la playa submareal (shoreface), por lo que finalmente se incluyeron los datos correspondientes a la batimetría superior a -20 m e inferior al cero hidrográfico. Con ello se pretende abarcar la mayor parte de la playa submareal activa (la longitud de onda media para la ola significativa es de 43,5 m de acuerdo con Borrego *et al.*, 1993). La elaboración de los MDTs se llevó a cabo con el módulo SEM (Structured Elevation Model) integrado en el software SIG Arc-Info PC (Fig. 3). La estructura del modelo de datos (Triangular Irregular Network, TIN) utilizada está especialmente bien adaptada a las características de la fuente de información (altimetría puntual e irregular) y es la estructura más potente y coherente para los cálculos volumétricos (Brandli, 1992; Ebner y Eder, 1992). Una vez construidos los MDTs para ambas fechas, fueron analizados, cuantificados volumétricamente y, tras su normalización geométrica, comparados (“chart differencing”) con las herramientas que ofrece el software Arc-Info.

2/ Para la caracterización de los modelos de evolución del sistema unitario “flecha- formaciones intermareales-playas” se han utilizado, de forma complementaria, una gama más variada de técnicas de análisis. Para las

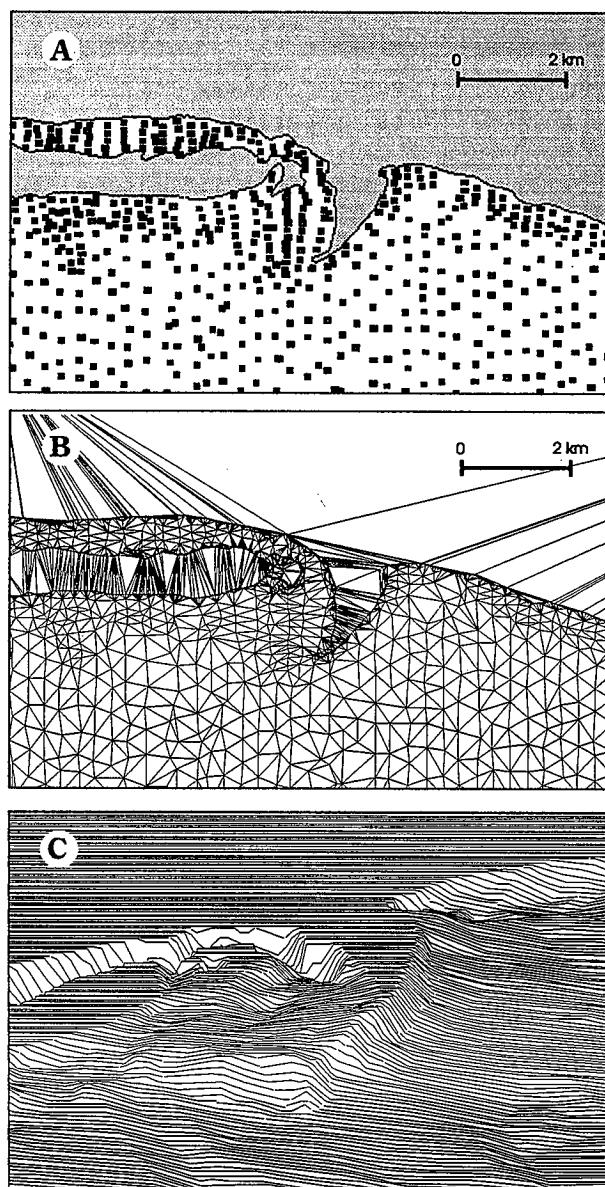


Figura 3.- Generación de los modelos digitales de terreno (1943): a) Datos de partida: “parcelarios” cedidos por el Instituto Hidrográfico de la Marina. b) Triangulación realizada por el software SEM para construir el modelo TIN con topología reconocida por Arc-Info PC. c) Vista tridimensional del delta submarino. El tratamiento y la superposición cartográfica en un contexto SIG permite el cálculo volumétrico y el balance sedimentario.

fechas anteriores a 1980 se han tomado los datos publicados sobre la progradación longitudinal y la cartografía evolutiva de la flecha (CEEPYC, 1979; Dabrio, 1982; Medina, 1981; Borrego *et al.*, 1992 y 1993), así como los relacionados con la evolución de la línea de costa en las playas adyacentes, a través de la comparación de dos vuelos fotogramétricos realizados en 1956 y 1980 (Ojeda, 1995). Para las fechas posteriores a 1980, el núcleo central de este artículo, se ha seguido un proceso de análisis con técnicas diferentes según se trate del estudio y cuantificación de los cambios en la línea de costa (flecha y playas adyacentes) o en las formaciones arenosas intermareales. Por una parte, el análisis de los cambios en la flecha y playas se ha sustentado en una detallada restitución

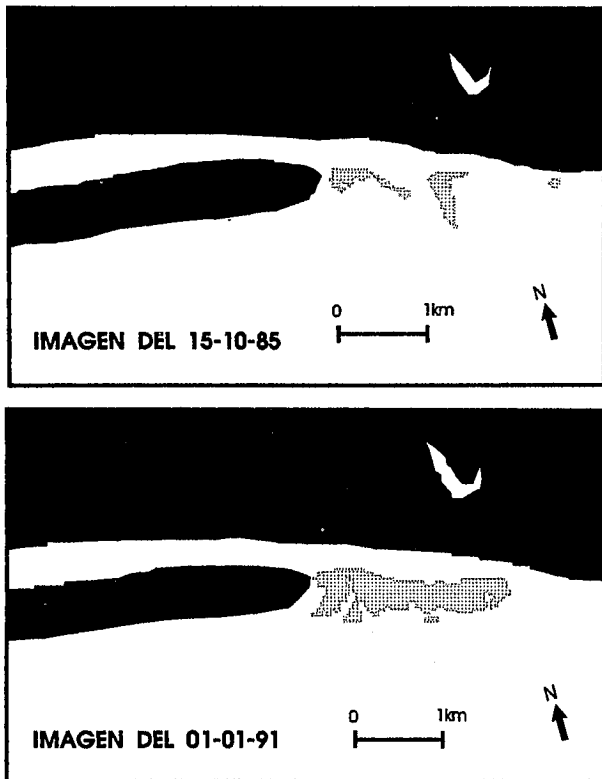


Figura 5.- Tratamiento digital de las formaciones arenosas intermareales en dos imágenes Landsat-TM. Extracción de los sectores emergidos (infrarrojo próximo).

dinal de la flecha, este desplazamiento de las playas hacia levante no encuentra justificación en la evolución morfológica de la flecha emergida.

Análisis superficial de las formaciones intermareales (deltas de reflujo).

Los resultados del comportamiento de la línea de

costa en la flecha y playas adyacentes sugerían el interés del análisis de las formaciones intermareales, ya que éstas podían proporcionar la clave para la comprensión de la evolución morfológica reciente del sistema flecha-playas-formaciones intermareales. La Fig. 5 muestra los resultados del tratamiento digital llevado a cabo sobre las imágenes Landsat-TM, las cuales son perfectamente comparables y cuantificables, dado el carácter digital de los datos y la escasa diferencia de la altura de marea entre ellas ($< 0,1$ m.). En la imagen de 1985 las formaciones intermareales emergidas ocupan un superficie de 204.752 m^2 y, desde un punto de vista morfológico, se presentan seccionadas por varios canales de flujo/reflujo. La imagen de 1991 muestra una configuración totalmente diferente, dominada por la evidente expansión superficial (595.287 m^2) de estas formaciones, las cuales se prolongan longitudinalmente de forma anormal ($80-90 \text{ m/año}$), a la vez que concentran y desplazan el canal principal del estuario hasta posiciones totalmente paralelas a la costa. Este crecimiento superficial y su progradación hacia levante es quién, ahora, ejerce un importante efecto protector sobre el oleaje dominante del tercer cuadrante y justifica el desplazamiento solidario, en la misma dirección, de los sectores progradantes y erosivos en las playas adyacentes.

Modelos de evolución

A la vista de estos resultados y si se mantienen las hipótesis de partida, es decir, que a la flecha continua llegando un volumen sedimentario bastante significativo, aunque sea a costa de las playas situadas a poniente, su efecto de sumidero (constatado en el análisis volumétrico) debe plasmarse morfológicamente en algunas de las unidades antes caracterizadas como un sistema unitario (flecha, playas y formaciones intermareales). A partir del análisis diacrónico de estos elementos, y de su particular

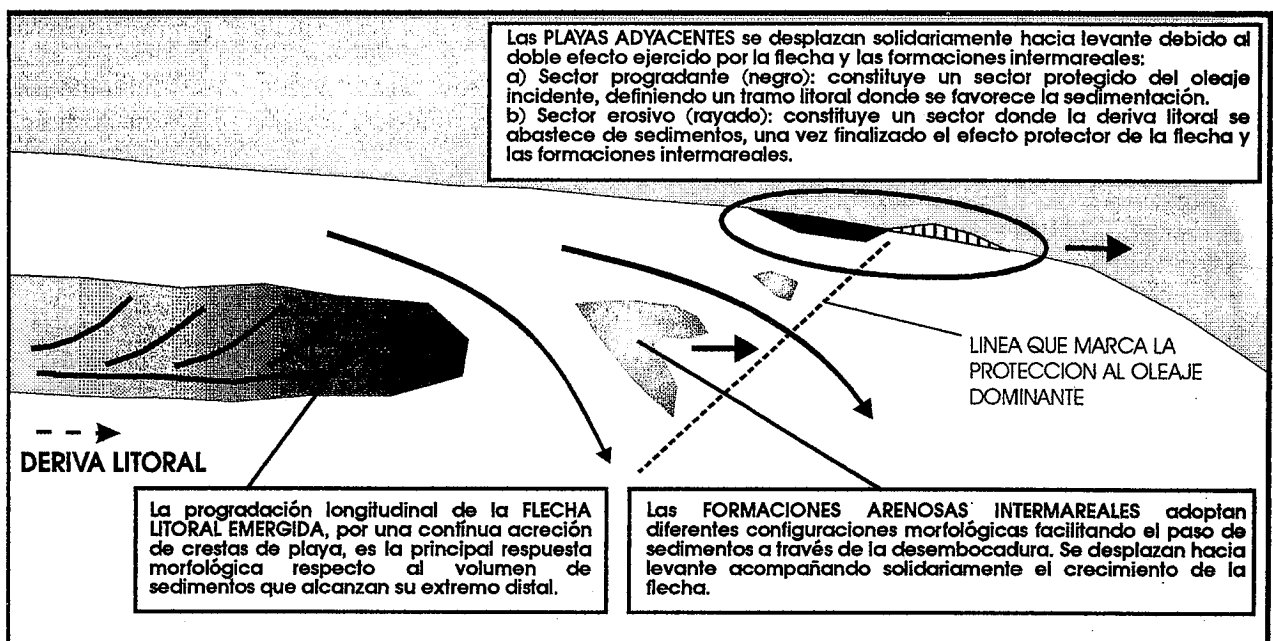


Figura 6.- Esquema gráfico del modelo de evolución "clásico".

comportamiento morfológico, se proponen dos modelos de evolución coherentes con las hipótesis de partida. Es necesario subrayar que se trata de modelos de evolución morfológica (behaviour-related model) y no de modelos basados en el análisis de procesos (processes-related model), ya que su formulación se sustenta en la interpretación de situaciones de equilibrio instantáneo expresadas en las fuentes de información utilizadas (mapas, fotos e imágenes de satélite).

El modelo "clásico" (hasta comienzos de los años 80).

Numerosos autores han reflejado y analizado el crecimiento de la flecha del Rompido para el periodo temporal que abarca desde su configuración como flecha litoral, durante el siglo XVIII (Dabrio, 1982), hasta comienzos de los ochenta (Borrego *et al.*, 1992; Medina Valverde, 1992). En todos los casos se ha constatado una acelerada dinámica en la misma, manifestada en elevadas tasas de progradación longitudinal (30-60 m/año). Desde la óptica adoptada en este artículo, es decir, entender el complejo de flecha-playas-formaciones intermareales como un sistema unitario, podría establecerse un primer modelo evolutivo caracterizado por las siguientes modificaciones morfológicas en cada uno de estos elementos (Fig. 6):

La flecha litoral emergida: Durante este periodo, la más evidente repercusión morfológica se ha manifestado en un acelerado crecimiento longitudinal de la flecha, por la continua acreción de crestas de playa a su extremo distal, hecho que la hacía progradar históricamente hacia levante. Algunos autores (Dabrio *et al.*, 1982) han identificado diferentes expresiones de este crecimiento, según la mayor o menor incidencia de las corrientes de marea o la disponibilidad sedimentos, lo cual se manifiesta morfológicamente en una mayor o menor inclinación de las crestas de playa que han quedado reflejadas en la morfología de la flecha.

Las formaciones intermareales: En las referencias bibliográficas utilizadas (Dabrio, 1982; Borrego *et al.*, 1992) y/o en los documentos históricos consultados (cartas náuticas desde el siglo XVIII), estas formaciones presentan configuraciones morfológicas diferentes (seccionadas por varios canales de flujo/reflujo, exentas o adosadas al continente según la inclinación del canal principal del estuario, etc...), aunque no significativas variaciones en su superficie, sino más bien un desplazamiento hacia levante, solidario con el crecimiento de la flecha. Las modificaciones en la configuración de las formaciones intermareales, se asocian generalmente a la alternancia de periodos de estabilidad (progresión paralela a la costa y desplazamiento del canal de reflujo) y periodos erosivos (avenidas fluviales, temporales invernales...), durante los cuales se abren nuevos canales de flujo/reflujo y una parte de sus sedimentos se adosan a la costa, a la flecha, o finalmente pasan a integrarse al flujo sedimentario longitudinal. Este proceso, típico en costas mesomareales con un transporte longitudinal importante, garantiza el "bypassing" de parte de los sedimentos a tra-

vés de las desembocaduras de los estuarios y pasos ("tidal inlets"), y ya ha sido constatado en el Guadiana (Ojeda, 1988).

Las playas adyacentes: estas playas están sometidas a una doble influencia según la ubicación de los elementos anteriores (flecha y formaciones intermareales):

- Un primer sector se encuentra protegido del oleaje dominante del tercer cuadrante por la presencia de la flecha y las formaciones intermareales. Por otra parte, se ve afectado por el oleaje del segundo cuadrante que desplaza los sedimentos hacia poniente hasta un punto donde se compensa por la incidencia del estuario. Se configura, entonces, un sector donde se favorece la sedimentación y se manifiesta en la presencia de una amplia "playa progradante".

- Un segundo sector se inicia cuando acaba el efecto de protección antes citado y se restablece la deriva litoral hacia levante, la cual se abastece sedimentariamente de las playas contiguas, definiendo un "sector erosivo", justo al este del anterior. En este modelo, las playas adyacentes responden al crecimiento longitudinal de la flecha desplazándose, en el mismo sentido, hacia levante. De esta forma, el sector erosivo anterior pasa a ser progradante, y un nuevo sector erosivo se localiza a continuación.

Los cambios morfológicos en cada uno de estos elementos reflejan, con claridad, su funcionamiento interrelacionado y su evolución solidaria como un sistema unitario. En el modelo propuesto hasta los años ochenta (Fig. 6), el principal cambio morfológico se expresa en el crecimiento longitudinal de la flecha, mientras las formaciones intermareales y playas asociadas sólo ajustan su posición a la nueva situación creada por la progradación longitudinal de aquella. Durante la década los sesenta se realizaron una serie de intervenciones territoriales sobre estos sectores de playa, al considerarlos como estables. Posteriormente, éstos se han visto sometidos a procesos erosivos, debido al desplazamiento de todo el sistema hacia levante (Ojeda, 1995). Es interesante, por lo tanto, remarcar el interés de este enfoque "sistémico", al considerar los efectos de posibles actuaciones urbanístico-territoriales en zonas tan sensibles desde la perspectiva dinámica.

Modelo de evolución para el periodo 1980-1991

El análisis morfométrico realizado sobre diferentes documentos para este periodo refleja una clara disminución en el crecimiento longitudinal de la flecha; incluso algunos estudios similares sugieren su paralización (Medina, 1991). Sin embargo, al extremo distal de la flecha continúa llegando un volumen significativo de sedimentos (cálculos del transporte teórico potencial + disponibilidad de sedimentos a poniente), lo cual debiera manifestarse en respuestas morfológicas en el resto de los elementos del sistema (playas o formaciones intermareales). En este sentido, los resultados del análisis de la línea de costa y de las formaciones intermareales han reflejado

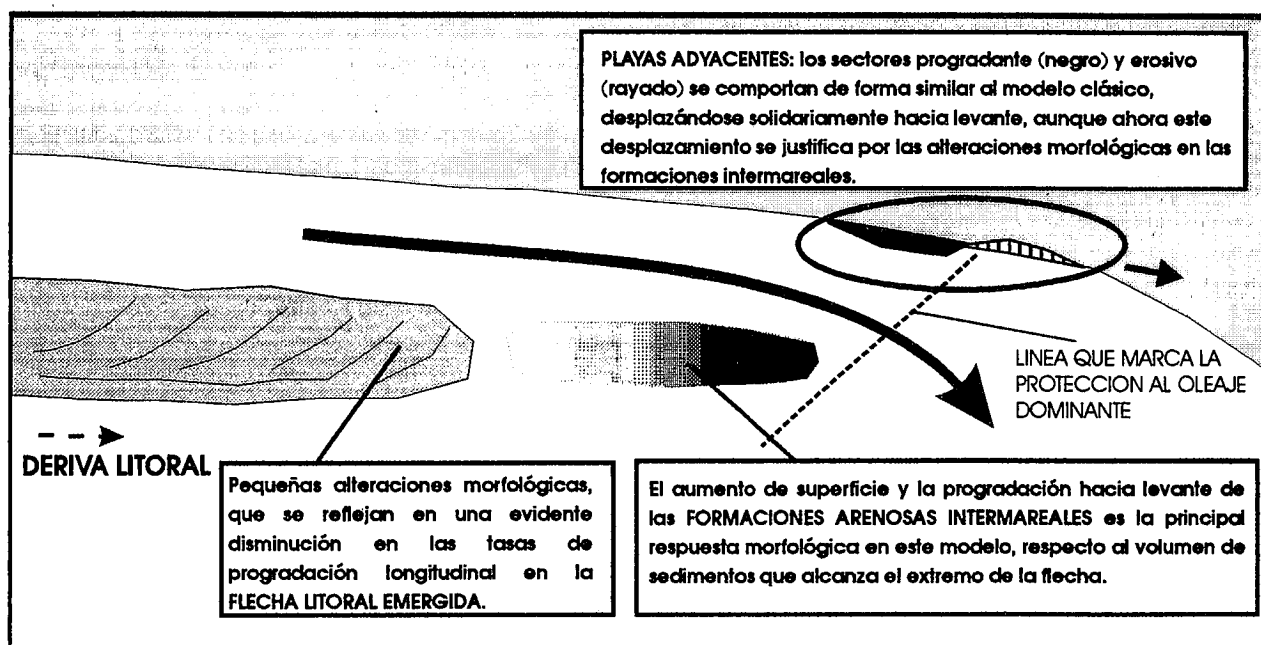


Figura 7.- Esquema gráfico del modelo de evolución para el periodo 1980-1991.

morfológicamente estos cambios que, al no adecuarse al patrón de evolución histórico, parecen inducir al establecimiento de un nuevo modelo de evolución, durante el periodo analizado. Este nuevo modelo se caracteriza por los siguientes cambios morfológicos en cada uno de los elementos del sistema (Fig. 7):

La flecha litoral emergida: Presenta escasas modificaciones morfológicas, las cuales ya no permiten justificar el reajuste morfológico del resto de elementos del sistema, como ocurría en el modelo anterior.

Las formaciones intermareales (deltas de reflujo): Experimentan una profunda modificación morfológica, expresada en un aumento superficial significativo (un 290%) y en una progradación longitudinal con tasas de 80-90 m/año.

Las playas adyacentes: Mantienen la misma configuración morfológica que en el modelo "clásico" (sector progradante y sector erosivo), aunque presentan un desplazamiento hacia levante de parecida magnitud a la progradación longitudinal de las formaciones intermareales.

En definitiva, en el modelo evolutivo para el periodo 1980-1991, el aumento superficial y la progradación longitudinal de las formaciones intermareales pasa a ser la respuesta morfológica más importante del sistema ante la continua llegada de sedimentos al extremo distal de la flecha litoral, siendo este hecho el que, ahora, justifica el reajuste posicional de los diferentes sectores (progradante/erosivo) en las playas adyacentes.

Discusión

El análisis e interpretación de las variaciones morfológicas estudiadas indican un cambio significativo en el comportamiento morfodinámico del sistema asociado a la flecha del Rompido a partir de los años ochenta, sin

poder precisar, por falta de datos intermedios, el momento exacto en que se produce. Sin embargo, es más difícil encontrar una explicación causal al mismo, para lo cual se necesitarían estudios complementarios específicos (análisis de refracción del oleaje en diferentes fechas, evaluación del transporte transversal, etc...). Estudios recientes sobre la evolución de la flecha aluden a la incidencia de actuaciones antrópicas (Borrego et al, 1992), especialmente a la realización de un dragado (Medina, 1991) en el canal de acceso al estuario del río Piedras en 1983 (800.000 m³). En esta interpretación, la disminución en el crecimiento longitudinal de la flecha se justifica porque parte del volumen de sedimentos que llegan a su extremo distal se depositan en la zona de dragado hasta restablecer el equilibrio morfodinámico de este sector. Asumiendo este hecho como lógico (en cierta medida, explicaría la configuración de las formaciones intermareales en 1985, ver Fig. 4), queda por justificar su posterior evolución morfológica, es decir, su aumento superficial y su progradación hacia levante. Una explicación posible podría ser que el reajuste morfodinámico en la zona de dragado se haya producido en pocos años, hecho bastante probable considerando exclusivamente el potencial teórico de transporte de la deriva litoral (300.000 m³/año) y la disponibilidad de sedimentos a poniente de la flecha litoral. A partir de entonces, y éste es el cambio sustancial en el comportamiento morfodinámico actual, son las formaciones intermareales las que modifican su respuesta morfológica ante la llegada de nuevos sedimentos. Este cambio podría estar relacionado con la intensificación del uso antrópico de este espacio durante los últimos años (paso de embarcaciones de pesca y recreo, uso turístico, marisqueo,...). Estudios previos (Dabrio et al, 1982; Medina, 1991) habían apuntado el efecto mecánico del rozamiento del casco de las embarcaciones con los sedimentos de estas formaciones intermareales y el

efecto hidrodinámico de la hélices que ponen en suspensión sedimentos posteriormente movilizados por las corrientes y oleaje, hechos que, junto a otros, dificultarían su emersión y favorecerían su extensión superficial. Por último, un elemento a considerar, desde un punto de vista prospectivo, es el hecho de que tanto la flecha como el resto de elementos asociados a ella, se están aproximando al arranque de la Flecha litoral de Punta Umbria (Fig. 2), sector donde el trazado longitudinal de la costa gira de forma notable hacia el sur. Su efecto sobre la capacidad de transporte de la deriva litoral (muy sensible al ángulo de incidencia del oleaje) y, consiguientemente, sobre la evolución futura del todo el sistema morfodinámico asociado a la flecha del Rompido, será un nuevo elemento de primera magnitud a tener en consideración.

Conclusiones y consideraciones finales

Los análisis llevados a cabo contribuyen a confirmar un hecho ya revelado por otros estudios: la flecha de El Rompido se ubica en un sector de la costa onubense donde la interacción de deriva litoral, corrientes de marea, abundantes reservas de sedimentos y un particular trazado de la línea de costa, favorecen la presencia de un transporte longitudinal importante, como ha quedado históricamente reflejado en la configuración morfológica de la flecha y en sus tasas de progradación longitudinal. Con este punto de partida y con el análisis e interpretación de los datos aportados en este artículo pueden extraerse las siguientes conclusiones:

(i) Los MDTs utilizados y los cálculos volumétricos realizados (en 1943 y 1981) sobre la playa submarina reflejan la retención de una cantidad sedimentos importante (119.000 m³/año) respecto al volumen que, durante el periodo analizado, ha llegado a este sector costero. El efecto drenante del sistema en relación al transporte de sedimentos en este tramo litoral es claro.

(ii) Las respuestas morfológicas a esta dinámica acelerada se han estudiado desde una perspectiva amplia, "sistémica", integrando en su análisis un conjunto de elementos (flecha, playas y formaciones intermareales) que evolucionan de forma solidaria e interrelacionada conformando un único sistema unitario. El análisis realizado, desde esta perspectiva, ha permitido identificar dos modelos evolutivos en la historia reciente de este sector costero: un modelo "clásico" (hasta la década de los ochenta) dominado por el crecimiento distal de la flecha emergida; y otro, desde comienzos de los ochenta hasta 1991, morfológicamente reflejado en el crecimiento superficial de las formaciones intermareales y en su progradación hacia levante, cambios probablemente inducidos por una intensificación de la incidencia antrópica.

(iii) Por último, es interesante, desde una perspectiva técnico/instrumental, subrayar el interés de la teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) en los estudios de geomorfología costera. Las imágenes de satélites constituyen una fuente de informa-

ción complementaria que proporciona una elevada periodicidad y datos multiespectrales (infrarrojo reflejado, térmico, imágenes radar...) de gran utilidad en costas con una cinemática acelerada. Por su parte, los softwares de SIGs constituyen un instrumento técnico que permite la integración de datos de diferentes procedencia y características geométricas (digitalización, correcciones geométricas...), a la vez que facilita los procesos de análisis (superposición cartográfica), cuantificación (cálculos superficiales y volumétricos) y modelización cartográfica.

Bibliografía:

- Borgniet, L. (1994): *La cartographie automatique comme élément d'étude et d'analyse des dunes côtières (Huelva, Espagne)*. Mémoire de Maîtrise. Programa Erasmus. Univ. Sevilla/Univ. Grenoble, 86 (Inédita)
- Borrego, J. y Pendón, J. G. (1989): Caracterización del ciclo mareal en la desembocadura del río Piedras (Huelva). *Actas del XII Congreso Español de Sedimentología*, 1: 97-100, Bilbao
- Borrego, J., Morales, J. A. y Pendón, J. G. (1992): Efectos derivados de las actuaciones antrópicas sobre los ritmos de crecimiento de la flecha litoral de El Rompido (Huelva). *Geogaceta*, 11: 89-92.
- Borrego, J., Morales, J. A. y Pendón, J. G. (1993): Holocene filling of an estuarine lagoon along mesotidal coast of Huelva: the Piedras river mouth, southwestern Spain. *Journal of Coastal Research*, 9 (1): 242-254
- Brandli, M. (1992): A triangulation-based method for geomorphological surface interpolation from contour lines. *EGIS'92 Proceedings*, 691-700.
- Coastal Engineering Research Center (1973): *Shore Protection Manual*. U.S. Government Printing Office. Washington.
- C.E.E.P.Y.C., Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas "Ramón Iribarren" (1979): *Plan de estudio de la dinámica litoral de la provincia de Huelva*. Informe. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 37
- Dabrio, C. J., Boersma, J. R., Fernández, J., Martín, J. M. y Polo M. D. (1980): Dinámica costera en el Golfo de Cádiz: sus implicaciones en el desarrollo económico de la región. *I Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, 19. Santander
- Dabrio, C. (1982): *Historia y dinámica de nuestra costa*. Ed. Excmo. Ayuntamiento de Cartaya, 36-39.
- Dabrio, C. J., Boersma, J. R. y Fernández, J. (1982): Evolución sedimentaria de la flecha del Rompido (Huelva). *Actas del IX Congreso Nacional de Sedimentología*, 1:329-341. Salamanca.
- Ebner, H. y Eder, K. (1992): State of the art in digital terrain modeling. *EGIS'92 Proceeding*, 681-690.
- Medina Valverde, J. M. (1991): *Dinámica litoral de la Flecha del Rompido (Huelva)*. Informe. Centro de Experimentación de Obras Públicas. Madrid
- Medina Valverde, J. M., (1992): La flecha del Rompido en la dinámica litoral de la costa onubense. *Ingeniería civil*, 80:105-110.
- National Research Council, (1990): *Managing coastal erosion*. National Academic Press. Washington. 182
- Ojeda Zujar, J. (1988): *Aplicaciones de la teledetección espacial al estudio de la dinámica litoral (Huelva): geomorfología y ordenación litoral*. Tesis Doctoral. Univ. de Sevilla, 409 (Inédita).
- Ojeda, J. y Vallejo, I. (1992): Tránsito sedimentario y modificaciones morfológicas en las formaciones arenosas submarinas asociadas a la flecha del Rompido (Huelva). Una aplicación del software ARC-Info PC. *Actas II Reunión AESIG*, 557-567
- Ojeda Zujar, J. (1995): El frente costero de Punta Umbría (Huelva): Dinámica natural, impactos antrópicos e incidencia territorial. *Cuadernos de Investigación de Geografía*. Univ. La Rioja (en prensa).

Manuscrito recibido el 10 de Octubre de 1994
Aceptado el manuscrito revisado el 27 de Junio de 1995