

DINÁMICA LITORAL DE UNA UNIDAD FISIAGRÁFICA COMPLETA : SANLUCAR-ROTA

Juan J. Muñoz Pérez.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Demarcación de Costas de Andalucía-Atlántico.

Javier Enríquez.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

HIDTMA, S.L.

RESUMEN

Ante la alarmante erosión que se viene produciendo en las últimas décadas a lo largo de todo un tramo de costa de más de 25 km., situado entre la desembocadura del río Guadalquivir y la población de Rota, la Dirección General de Costas, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, ha realizado un estudio de todo el litoral, el cuál sirve como marco para el conocimiento de los procesos hidrodinámicos y sedimentarios en la costa, y como base para el diseño de futuras actuaciones.

Para el análisis de la dinámica litoral de esta costa se ha efectuado un seguimiento de su evolución desde 1946 mediante comparación de fotografías aéreas, así como un análisis en modelo matemático del transporte litoral generado por los oleajes incidentes. Como resultados del estudio se han delimitado dos zonas independientes en cuanto a su dinámica litoral: el tramo Sanlúcar de Barrameda-Chipiona, controlado parcialmente por la dinámica del río Guadalquivir y con un claro transporte general hacia aguas arriba en la orilla de la margen derecha, y el tramo Chipiona-Rota, que no recibe aportes significativos del río, y con una tasa de transporte litoral aproximada de 30.000 m³/año en dirección sur-este.

ABSTRACT

The perpetual erosion of the coast between Sanlúcar de Barrameda and Rota is causing alarm at certain points where the coastline has receded more than 50 m. in thirty years. This has become prevalent along 25 km. of the coast and is affecting beaches, dunes, cliffs and areas of vegetation.

So rapid is the erosion that in several places, when boundaries of public land were to be redrafted and indicated on a cliff, for example, it was found that in less than three years of the administrative process by the Authorities in Cádiz, the coastal recession was of 4 m. and the boundary was in the sea.

The morphology of the coast line is very varied, given the irregularity of the coast area and the rocky outline behind which are numerous and very diverse independent units. The two points Punta del Perro and Salmedina are the accidents that limit two very different stretches: the left bank of the mouth of the Guadalquivir, and the coastline between Chipiona and Rota to the south.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
junio de 1998.

Recibido en ROP:
febrero de 1998

INTRODUCCIÓN

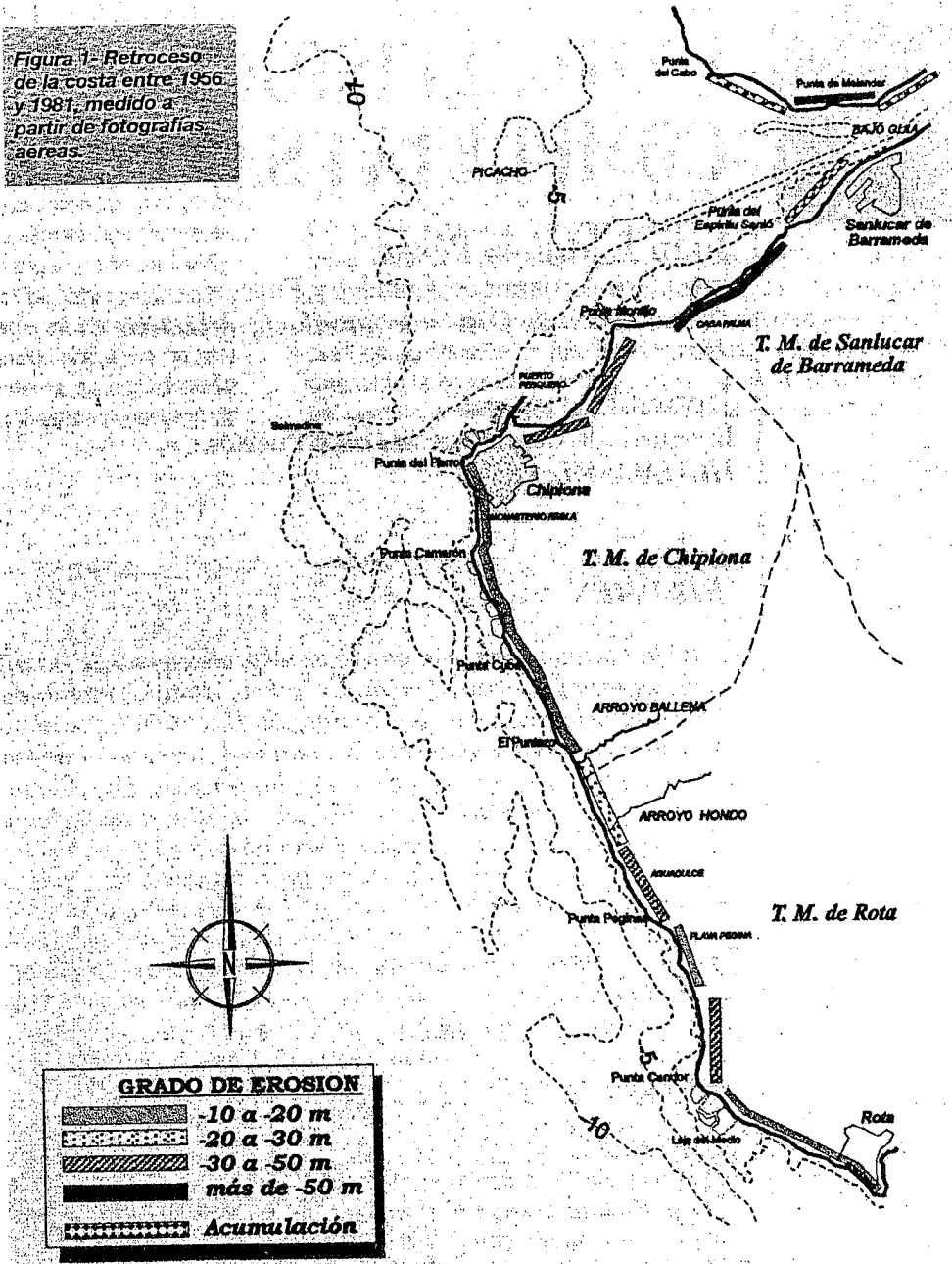
El tramo de costa situado entre Sanlúcar de Barrameda y Rota presenta un proceso de erosión secular, que ha llegado a ser inquietante en algunos puntos, con retranqueos de la franja costera de más de 50 metros en treinta años. Lo alarmante de este caso es la generalización del proceso a lo largo de 25 Km. de costa, afectando a terrenos tan diversos como playas, acantilados, dunas y zonas de vegetación.

La velocidad del proceso erosivo es tal en algunos puntos, que a la hora de replantear y colocar los hitos de delimitación del Dominio Público en lo alto de un acantilado, tras la tramitación de un expediente administrativo de duración no superior a tres años, la Demarcación de Costas Andalucía-Atlántico en Cádiz se ha encontrado con que el hito en cuestión estaba en mitad del mar, con retranqueos del orden de 4 metros.

La morfología del tramo costero es muy variada, como corresponde a una franja litoral tan irregular, flanqueada por una protección rocosa continua, que crea a su resguardo múltiples unidades interdependientes y de complicada caracterización. La Punta del Perro y Salmedina (ver fig. 1) son los accidentes que marcan el límite de dos tramos bien diferenciados: por una parte, la margen izquierda de la desembocadura del Guadalquivir y, por otra, la línea costera situada entre Chipiona y Rota, al sur.

Los aspectos más destacables del estudio, en el cual está basado este artículo, han sido el análisis de la evolución de la costa en las últimas décadas a partir de fotografías aéreas, y el estudio mediante modelo matemático del transporte litoral en zonas características de la unidad o unidades fisiográficas en las que este tramo de costa puede subdividirse. De esta forma, el trabajo habrá de servir como marco para el conoci-

Figura 1.- Retroceso de la costa entre 1956 y 1981, medido a partir de fotografías aéreas.



to de los procesos hidrodinámicos y sedimentarios en la costa, y como base para el diseño de futuras actuaciones en la zona.

EVOLUCIÓN DE LA LINEA DE COSTA

La evolución del tramo de costa entre Sanlúcar de Barrameda y Rota se ha realizado mediante el análisis de fotografías aéreas de diferentes vuelos a lo largo de los últimos 50 años. La relación de fotografías aéreas utilizada es la que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1
Fotografías aéreas empleadas en el análisis
de la evolución de la costa

VUELO	ESCALA VUELO
Febrero 1946	10.800
Diciembre 1956	9.100
1972	30.000
Diciembre 1981	12.000
Octubre 1984	30.000
Agosto 1985	18.000
Júlio 1994	15.000

Las variaciones del nivel del mar son imposibles de identificar en las fotografías aéreas, por lo que las medidas realizadas han basado en la comparación de las posiciones del pie duro del borde acantilado.

Dada la carrera de marea existente en la zona (alrededor de 50 m), el método empleado no permite una gran precisión en los resultados, aunque la ausencia de información cartográfica de otro tipo lo convierte en el único sistema de seguimiento posible. Esta comparación ha permitido obtener una buena imagen de los cambios ocurridos y de la tendencia a largo plazo de esta línea de costa.

En la figura 1 se ha representado el tramo de costa completo, indicando en cada zona el retroceso medio que se ha producido en el periodo de tiempo analizado. La figura 2 muestra las características físicas del borde litoral erosionado en cada zona.

A continuación pasaremos revista a cada uno de los grandes tramos de costa previamente diferenciados.

SEMBOCADURA DEL GUADALQUIVIR

La visión global de la evolución del tramo indica una transformación muy radical de la desembocadura del río Guadalquivir en las últimas décadas. Esta transformación se refleja en el crecimiento general del puntal de la flecha litoral por la margen derecha (placer de San Jacinto), en el crecimiento de la playa de Sanlúcar en su margen izquierda, y también en la intensa erosión de la playa situada entre la Punta del Espíritu Santo y Punta Montijo (ver fig. 1). Quizá la evolución más espectacular haya sido la sufrida por el puntal de la flecha de Doñana, que ha avanzado de forma muy notable entre los años 1946 y 1994 hacia el interior de la desembocadura, la cual ha disminuido su anchura en unos 300 m. a lo largo de este periodo.

Estas transformaciones indican un claro descenso del caudal medio del río Guadalquivir desde la década de los 50, producido por el desarrollo de los aprovechamientos hidráulicos en su cuenca, lo que ha ocasionado el estrechamiento del últi-

mo tramo de su cauce y el desplazamiento de las playas de la margen izquierda hacia la desembocadura.

El tramo de costa situado al este y aguas arriba del dique del puerto pesquero de Chipiona hasta Punta Montijo (2 Km. de longitud) ha retrocedido de una forma alarmante en las cuatro últimas décadas. Este tramo está compuesto por acantilados de origen pliocuaternario (Gutiérrez Mas et al, 1991), los cuales han sido erosionados adoptando una orientación más perpendicular a la incidencia del oleaje para disminuir el transporte de sedimentos. El material de los acantilados de esta costa (areniscas calcáreas, margas y arcillas) es deleznable y, por lo tanto, se erosiona con cierta facilidad cuando es sometido a la acción directa del oleaje.

Todo este tramo no parece recibir aportes directos de la desembocadura, puesto que la laja rocosa sumergida existente frente a la costa impide el trasvase eficaz de arena entre ambas zonas. Tampoco los materiales procedentes del dragado de la desembocadura, realizados periódicamente por la Autoridad Portuaria de Sevilla, y que son vertidos entre Punta Montijo y Salmedina, a 10 metros de profundidad, se reincorporan luego al transporte litoral costero, debido a la presencia de esta misma laja. Únicamente los sedimentos en suspensión, de tamaño sensiblemente más fino que el que compone el perfil de playa activo, y que proceden del río en épocas de grandes caudales, pueden suponer una cierta fuente intermitente de sedimentos para todo el tramo.

TRAMO CHIPIONA-ROTA

Esta zona del litoral se encuentra sustentada sobre una amplia laja rocosa, la cual tiene efectos notables, tanto sobre la morfología del perfil de playa como sobre su dinámica litoral (Muñoz Pérez, 1996): el nivel del oleaje incidente en el estrán es inferior debido al rozamiento con el fondo rocoso, y la refracción es superior a la de otro tramo similar sin laja rocosa. Todo ello supone una disminución de la capacidad de transporte longitudinal del tramo.

La laja rocosa aísla la playa de una posible llegada de sedimentos situados a mayores profundidades, en el entorno de la desembocadura del río Guadalquivir, por lo que el tramo evoluciona libremente, sin volúmenes de aportes marinos o continentales relevantes.

Doblada hacia el sur la Punta del Perro se encuentra la playa de Regla. Su reciente regeneración, llevada a cabo por la Dirección General de Costas en el verano de 1992 con un vertido de 500.000 m³, se efectuó con una dotación de más de 300 m³/ml de playa. Los posteriores seguimientos realizados (Gomez Pina et al, 1996 y Muñoz et al, 1996) ponen de manifiesto el equilibrio actual de este tramo de playa.

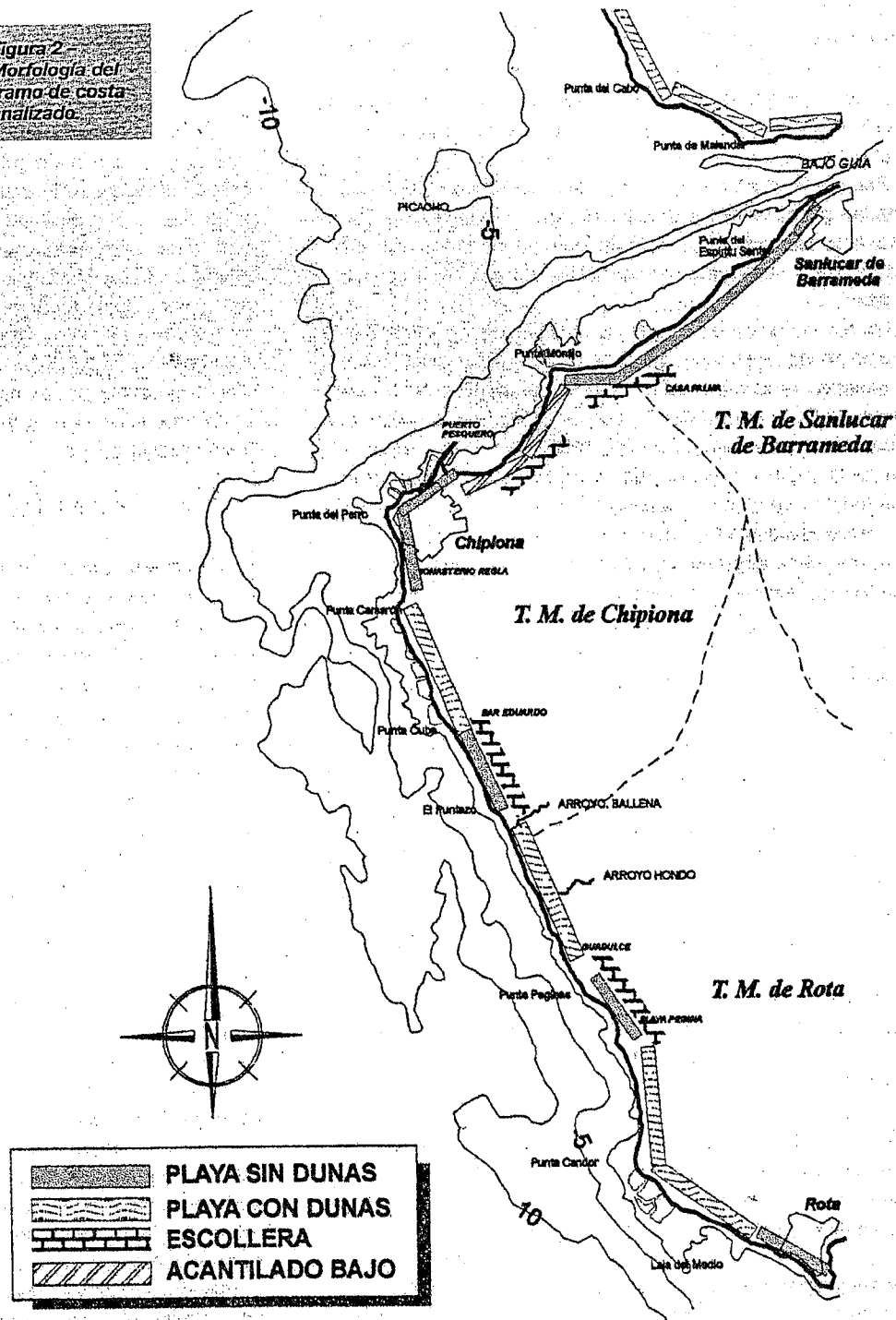
Al sur de Chipiona, la playa del Camarón ha sufrido alguna erosión ligera, pero está bastante protegida por los antiguos corrales de pesca en su frente, los cuales actúan como una eficaz defensa frente a la erosión del perfil de playa. La utiliza-

ón de los corrales como arte a pesca se remonta a la época de los romanos, y se trata de la construcción de muros de mampostería con formas más o menos circulares sobre un fondo rocoso. La coronación de dichos muros tiene una cota aproximada de media carrera de marea. De este modo, los peces entran con la pleamar buscando alimento y pueden ser atrapados en su interior cuando el nivel de la marea desciende.

Pasada esta zona de aparente equilibrio, las playas situadas más al sur, que no reciben aportes sólidos sustanciales del río Guadalquivir, evolucionan libre y aisladamente, en un proceso secular de retroceso, buscando la asanamiento del oleaje al abrigo de los fondos rocosos que la playa descubre en su retirada hacia el este.

A partir de Punta Cuba, la erosión comienza a aumentar a lo largo de la playa de La Ballena hacia el sur. De un modo aproximado, el retroceso sufrido en las cuatro últimas décadas se puede evaluar en 15-30 m. a lo largo de la playa de La Ballena, y en 5-50 m. en la playa de Aguadulce, siendo especialmente intensa la erosión al llegar a Punta Peginas, con retrocesos de la costa de hasta 50 m. en este periodo señalado. La orientación de playa Peginas favorece en cierta forma su equilibrio y reduce el grado de erosión experimentado por los años anteriores; pero otra vez se producen erosiones levadas en las cercanías de Punta Candor, siendo éste accidente y el sistema de dunas situado inmediatamente al norte de las zonas que han sufrido una erosión más fuerte, con un retroceso entre 30 y 50 m. desde el año 1956. Una prueba evidente de este retroceso son los dos "bunkers" que en 1956

Figura 2.
Morfología del tramo de costa analizado.



estaban situados sobre la playa seca, y hoy en día se encuentran incrustados en la zona intermareal.

En todo este tramo de costa, entre Punta Cuba y Punta Candor, la presión urbanística se ha desarrollado de una forma muy moderada y no parece que sea éste un factor decisivo

para justificar el retroceso general del tramo; más bien habrá que buscar la explicación en el proceso erosivo natural que viene sufriendo la costa y que, debido a las características de los materiales que la componen, hace que este retroceso sea observable claramente en periodos de tiempo relativamente cortos.

Pasada Punta Candor, que es también objeto de especial agresión por el oleaje, el transporte sigue encauzándose hacia Rota, esta vez a lo largo de playas que mantienen una estabilidad dinámica, aunque con variaciones anuales de perfil apreciables.

La ocupación de gran parte de la playa seca por edificios a lo largo de los años sesenta y setenta ha sido la única influencia negativa en la playa de La Costilla, situada frente al casco urbano de Rota. La Fundación Leonardo Torres Quevedo, tras un completo estudio (Medía et al, 1995), diseñó una regeneración de la playa a base de realimentación con arenas procedentes del dragado de la bocana del Puerto de Cádiz; un espigón perpendicular de contención completó la actuación, evitando en gran medida la pérdida de sedimento hacia el cercano paleocauce sumergido del río Guadalete.

MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE LA DINÁMICA LITORAL

METODOLOGÍA

Con el objeto de analizar en detalle las características del transporte litoral se ha desarrollado un modelo matemático de la playa de La Ballena, situada al sur de Chipiona, tramo en el que disponemos de una batimetría muy detallada y reciente, que cubre siete kilómetros de costa.

El proceso aplicado al cálculo del transporte litoral generado por los oleajes en la costa es determinista, reproduciendo los procesos reales que tienen lugar en la naturaleza. La herramienta fundamental empleada en la modelización ha sido el sistema Mike-21, desarrollado por el Danish Hydraulic Institute (DHI), y su base de cálculo parte inicialmente de la batimetría de la zona y de la naturaleza de los sedimentos del fondo, representados por su tamaño medio D50. Los aspectos más relevantes del cálculo matemático, realizado sobre una malla rectangular regular de los fondos, son los siguientes:

▼ Se propaga el oleaje incidente mediante un modelo bidimensional, el cual tiene en cuenta los procesos de refracción, shoaling, rotura y fricción con el fondo. El resultado final es la altura de ola y dirección del oleaje en cada nodo de la zona simulada

▼ A partir de la distribución de altura de ola se calculan las componentes del tensor de radiación; estas componentes se introducen como fuerzas actuante en un modelo hidrodinámico de la misma zona simulada.

▼ Conociendo la altura de ola y el valor de la corriente en cada punto, se calcula el transporte litoral local para cada nodo de la batimetría

El cálculo anterior se realiza para cada uno de los oleajes que integran el clima marítimo de la zona, dando lugar su integración al vector de transporte de sedimento en cada punto de la zona simulada para el clima marítimo medio anual. El resultado muestra el estado estacionario del proceso, aunque el mismo sistema permitiría obtener una descripción dinámica del mismo, repitiendo los cálculos de forma cíclica.

Esta misma herramienta matemática fue empleada en el seguimiento de la playa de La Victoria (J. Enríquez, 1993-1997), comparando las medidas tomadas con los resultados de la aplicación del modelo, siendo sus resultados notablemente satisfactorios.

APLICACIÓN DEL MODELO

Se ha estimado necesario recurrir a un modelo bidimensional y no a uno lineal para la modelización del transporte, dado que la batimetría de los fondos es muy irregular, con zonas de arena y lajas rocosas intercaladas. La figura 3 presenta el perfil tipo de la playa de La Ballena, donde puede apreciarse un fondo rocoso sobre el que se asienta un perfil de playa a partir de una cota variable: el perfil arenoso surge desde la profundidad -1 m. hacia la zona norte de la playa, y desde la cota +1 m. en las proximidades de Punta Pegina (cotas referidas a la B.M.V.E.). La carrera media de marea en la costa atlántica gaditana es de 3.5 m.

Los resultados de los cálculos realizados con el modelo bidimensional indican que el transporte litoral tiene una clara tendencia media anual en sentido norte-sur, aumentando ligeramente su valor en la misma dirección, y con un volumen medio anual neto de unos 25-30.000 m³/año.

En la figura 4 se compara la tasa de transporte calculada mediante el modelo bidimensional con las calculada mediante el análisis fotográfico de los retrocesos de la costa. Puede observarse una tendencia de ambas tasas a aumentar hacia el sur, con unos valores finales de un orden de magnitud muy similar. La zona cercana a Punta Pegina tiene una tasa de transporte del orden de 30-35.000 m³/año, superior a la del tramo norte adyacente, lo cual tiene como consecuencia una elevada tasa de erosión.

Aunque el transporte longitudinal calculado parece ser bastante fiable, si lo comparamos con las medidas del retroceso efectivo de la costa, la pérdida de arena en la zona es superior en determinadas circunstancias, cuando los temporales fuertes atacan el perfil de arena y modifican su pendiente de equilibrio, provocando pérdidas adicionales de arena hacia profundidades mayores. En estas circunstancias, el sedimento depositado sobre el fondo rocoso tiene un difícil e incierto camino de regreso a la zona intermareal, por lo que buena parte

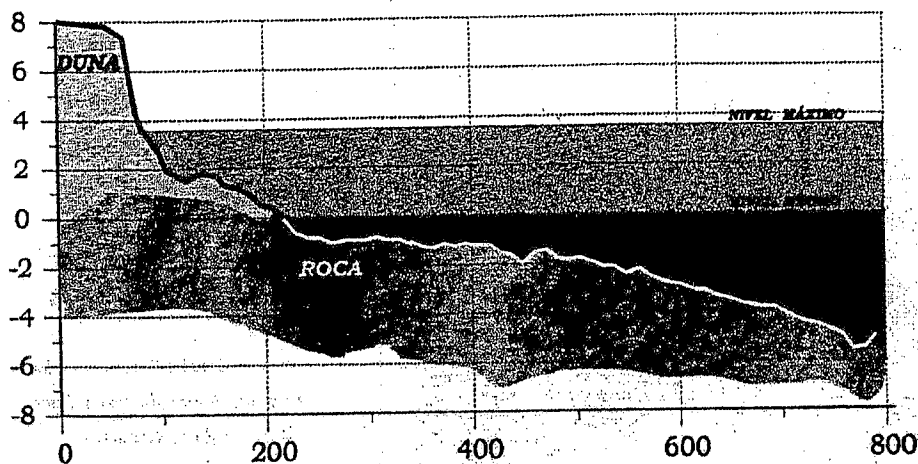


Figura 3 - Perfil tipo de la playa de La Ballena.

Las playas de Regla y el Camarón tienen un equilibrio lateral sensiblemente estable, pero desde este punto hacia el sur la línea litoral evoluciona libre y aisladamente, en un proceso secular de retroceso, abrigada parcialmente por los fondos rocosos. Siendo el transporte litoral ligeramente superior según se avanza hacia el sur, la zona de Punta Pegina retrocede más rápidamente que el tramo norte de La Ballena, con tasas de transporte moderadas (20-30.000 m³/año) y retranqueos anuales de la costa del orden de 1

metro durante las cuatro últimas décadas. e su volumen puede ser dado como perdido para el perfil de la playa en estos casos. Comportamientos de este tipo, con pérdidas notables de sedimento, han sido detectados en la playa de La Victoria tras su regeneración en 1992. A este respecto Muñoz Pérez (1996) indica que las lajas rocosas proporcionan un elevado grado de protección frente a cambios estacionales normales, pero no frente a temporales con olas de periodo de retorno superiores a los 5 años, que producen un retroceso transversal de la arena, llevándola más allá del punto de retorno del sedimento.

Pasada Punta Candor, objeto de especial agresión por el oleaje, el transporte sigue encauzándose hacia Rota, esta vez a lo largo de playas que mantienen una aparente estabilidad, aunque con variaciones anuales de perfil notables.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TRANSPORTE LITORAL Y EVOLUCIÓN DE LA COSTA

La margen izquierda de la desembocadura del río Guadalquivir presenta un transporte neto en sentido de oeste a este, impulsado fundamentalmente por los oleajes exteriores. El creciente aprovechamiento hidráulico del río desde la década de los 50 ha propiciado el descenso de sus aportes, lo que ha derivado en la reducción del ancho de la desembocadura en 300 metros y en el desplazamiento de la playa situada entre la Punta del Espíritu Santo y Punta Montijo hacia el frente costero de Sanlúcar. Los acantilados pliocuaternarios situados entre Punta Montijo y el puerto de Chipiona también han mostrado retrocesos fulgurantes en las últimas décadas (entre 30 y 50 m. desde 1956) detenidos en parte por revestimientos longitudinales de escollera.

Tanto la margen izquierda de la desembocadura como toda la costa al sur de la Punta del Perro no reciben aportes directos sustanciales del río, ya que la laja rocosa que bordea el litoral impide el contacto del perfil de playa con los depósitos sedimentarios inferiores.

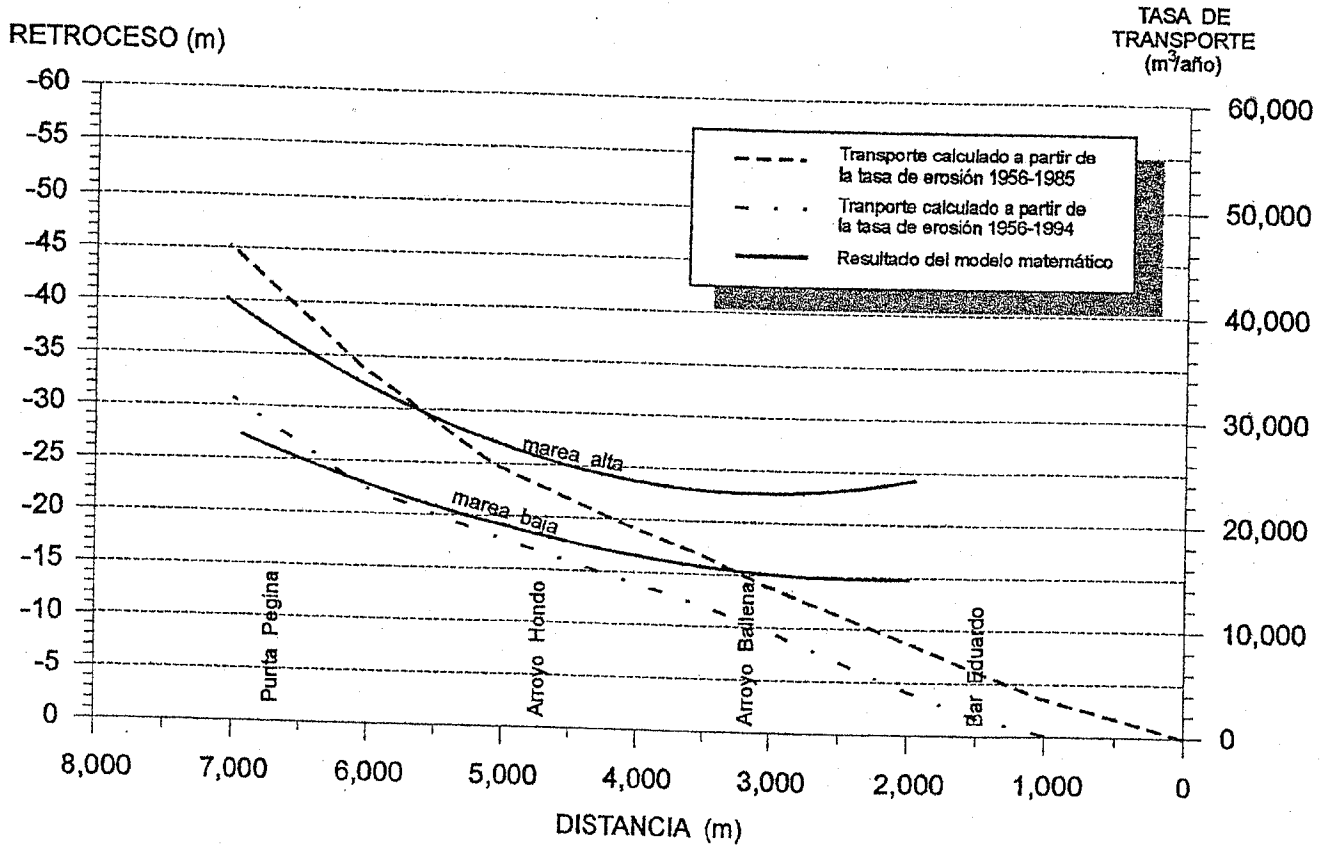
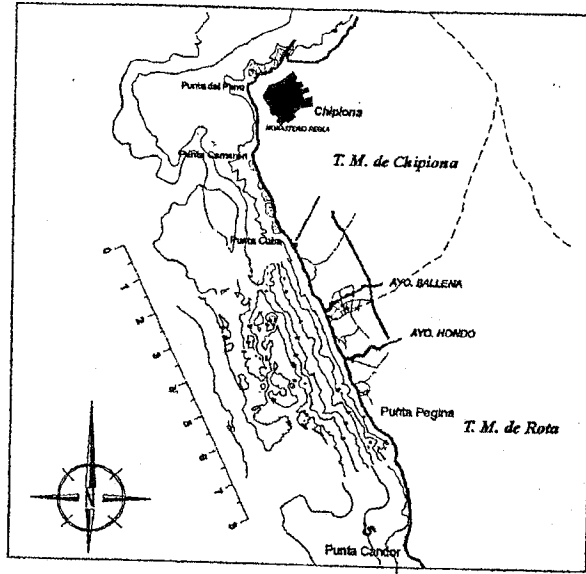
ACTUACIONES FUTURAS

En la margen izquierda de la desembocadura, el análisis detallado de alternativas de actuación requiere un mejor conocimiento de la geometría y naturaleza de los fondos, para poder así precisar claramente el grado de influencia relativa del oleaje y las corrientes de marea sobre el transporte litoral, y valorar con ello el efecto de posibles medidas futuras de estabilización. Estas medidas pudieran ser:

- ▼ el aprovechamiento del material dragado en la desembocadura para la regeneración de las playas adyacentes. Este material es periódicamente extraído por la Autoridad Portuaria de Sevilla para garantizar la navegabilidad en la zona
- ▼ la protecciones de los márgenes acantilados mediante revestimientos de escollera u otros materiales.

Al sur de Punta Cuba comienzan a desarrollarse las primeras erosiones de importancia. En todo este tramo, las actuaciones que incluyan obras de defensa requerirían una evaluación muy precisa de sus posibles consecuencias sobre zonas situadas al sur, ya que el transporte litoral neto se dirige en este sentido. Además, la tasa de transporte calculada para esta zona (entre 20.000 y 30.000 m³/año) no resulta tan elevada como para hacer imprescindible la construcción de obras de defensa, y más bien es recomendable acudir a aportaciones periódicas de arena que detengan el avance de la erosión.

Figura 4 – Resultados del cálculo de la tasa de transporte longitudinal, comparados con las medidas fotográficas.



Una solución de estabilización y regeneración de este tramo (figura 5) incluiría una aportación media anual de unos 8000 m³/año por kilómetro de costa en la zona norte del tramo de 4 km. de longitud, y de 8.000 m³/año por kilómetro en el

tramo sur (unos 2 km. de longitud). En total, el déficit de arena se estima en unos 40.000 m³/año en una longitud de unos 6 Km. de playa. Una aportación adicional de un 10% de material en previsión de pérdidas iniciales por migración de finos y ma-

terial bioclástico, eleva la necesidad de aportación a unos 44.000 m³/año en el tramo.

Dada la naturaleza del perfil existente, apoyado en una base rocosa, no conviene llevar a cabo regeneraciones masivas, pues la tasa de erosión sería en este caso muy superior a la antes calculada para la alternativa de realimentaciones de periodicidad anual.

Estos cálculos aproximados manifiestan la posibilidad de mantener y recuperar esta costa sin obras de defensa a base de escollera.

Los salientes que forma la costa son lugares propicios para la concentración de la energía del oleaje y, por tanto, de las erosiones, siendo los casos de Punta Peginas y Punta Candor ejemplos claros, con retrocesos estimados de más de 40 m. en los 30 últimos años. La defensa eficaz de estos puntos singulares, en caso de considerarse precisa, ha de realizarse necesariamente mediante revestimientos del terreno u obras exentas frente a la costa. Los revestimientos tienen el inconveniente de dificultar la formación de playa frente a ellos, pero no interrumpen el transporte litoral, y su impacto se reduce a un área próxima a la obra. Por el contrario, la creación de defensas exentas, imitando la disposición de corrales u obras de fábrica similares, retienen parte del transporte litoral, por lo que su presencia puede afectar a los tramos de playa situados al sur que reciben estos aportes.

AGRADECIMIENTOS

El estudio del cual ha sido extraído el presente artículo ha sido elaborado por la Dirección General de Costas, actualmente dependiente del Ministerio de Medioambiente.

REFERENCIAS

–Enriquez, J. "Seguimiento de la evolución de la playa de La Victoria (Fases A-E)" 1993-1997. Demarcación de Costas Andalucía-Atlántico, Dirección General de Costas.

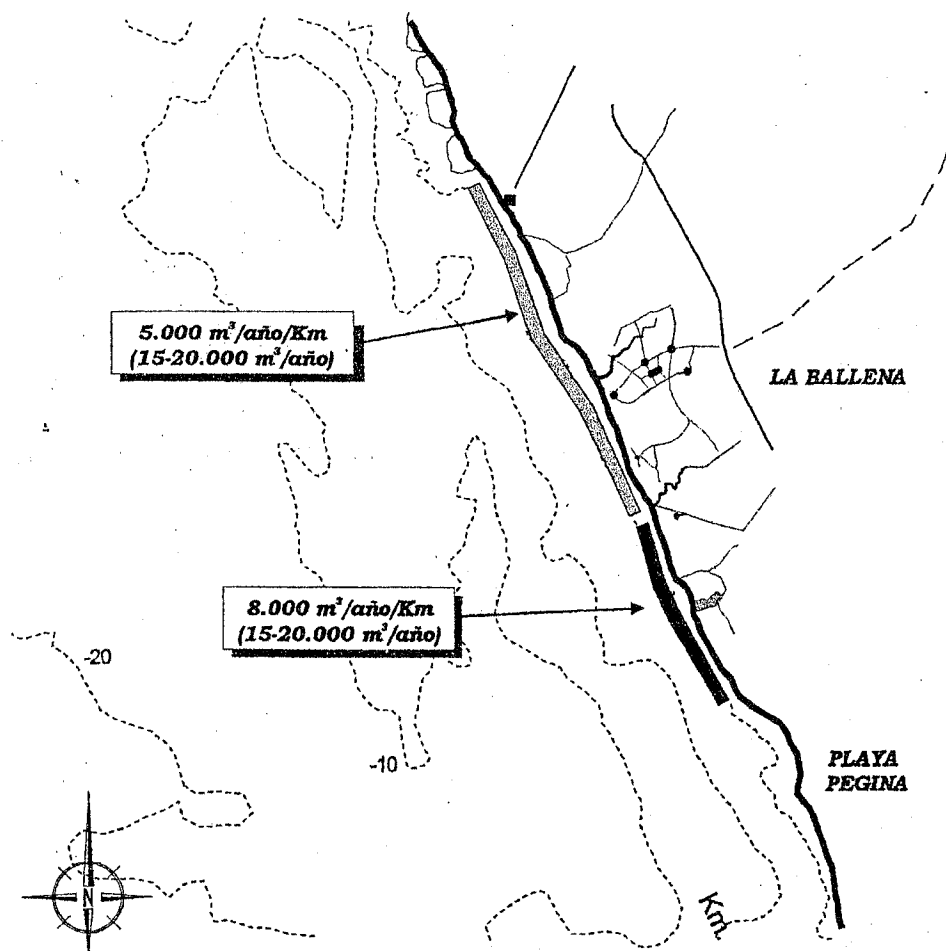


Figura 5 – Propuesta de actuación para la regeneración de la playa de La Ballena

–Gómez Pina, G.; Rubio Aranoa, E.; Muñoz Pérez, J.J.; Ranz Caro, J.L.; y Fages Antuña, L.; 1996. "Regeneración de la playa de Regla (Chipiona, Cádiz): Proyecto, construcción y funcionamiento". III Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.

–Gutiérrez Mas, J.M.; Martín Algarra, A.; Domínguez Bella, S.; Moral Cardona, J.P.; 1991. "Introducción a la Geología de Provincia de Cádiz". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.

–Muñoz Pérez, J.J.; Gutiérrez Mas, J.M. y Parrado Román, J.M.; 1996. "Estudio del movimiento de sedimentos en la playa de Regla (Chipiona, Cádiz), mediante el uso de trazadores fluorescentes". Bol. Geológico y Minero, vol. 107-1, pag. 29-37.

–Muñoz Pérez, J.J., 1996. "Análisis de la morfología y variabilidad de las playas apoyadas en lajas rocosas". Tesis Doctoral. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Cádiz.

–Medina et al. 1995. "Estudio del comportamiento de la playa de La Costilla". Dirección General de Costas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. ●