

Evolución del delta del río Guadalfeo

PEDRO RODRIGUEZ BERZOSA (*)
JOSE MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (**)

RESUMEN. En este artículo se presenta, resumido, el último estudio en que participó el autor, llevado a cabo en el CEPYC, en el que se estudió la evolución que se había producido a lo largo del tiempo en el delta del río Guadalfeo (Motril-Granada), los agentes que habían hecho posible tal evolución y la previsible variación del delta en el futuro.

EVOLUTION OF THE DELTA OF GUADALFEO RIVER

ABSTRACT. In this article, a summary of the last study of the author of this article done in CEPYC is showed. It was studied the evolution of the delta of Guadalfeo river and the variables which had made that evolution and the future evolution of the delta.

Palabras clave: Delta; Evolución de la costa; Transporte sólido litoral; Sedimentos fluviales.

1. INTRODUCCION

El delta del río Guadalfeo forma una prominente fértil llanura que se extiende entre los términos municipales de Salobreña y Motril en la costa granadina, estando delimitado su frente costero por los acantilados de La Guardia y el puerto de Motril.

A lo largo del tiempo el delta ha ido creciendo debido a los aportes del río; en una primera fase con la desembocadura en la llamada Punta del Río; y en una segunda fase, tras el desvío del río, con la desembocadura actual. En los últimos años parecen haber surgido ciertas controversias acerca del estado evolutivo, tanto presente como futuro, de las playas que forman el delta, especialmente las playas de Salobreña y la Cagailla, donde tras insistentes oleajes de poniente, se han detectado retrocesos en la línea de playa.

Para conocer el estado real del delta y su previsible evolución futura del mismo, la Dirección General de Costas encargó un estudio completo y global del mismo, encomendando en 1993 al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), la realización de un estudio de Evolución de Costa que diera a conocer el estado evolutivo del delta tanto pasado como presente y futuro. Dicho estudio se efectuó entre el segundo y tercer trimestre del año, entregándose a comienzos del mes de noviembre de 1993.

Este artículo recoge sintéticamente los aspectos esenciales y significativos de aquel trabajo, que se denominó «Estudio de la evolución del delta del río Guadalfeo (Granada) y su incidencia sobre la costa adyacente». Así pues, se ha extraído y simplificado la escritura para facilitar la comprensión del texto para técnicos y no técnicos no familiarizados con estos estudios.

2. ENTORNO LITORAL

La costa granadina se enmarca en las estribaciones occidentales de la cordillera Penibética, cuya característica principal es la abundancia de depresiones transversales que parten de la depresión principal y van entre las vegas a desembocar en el mar. Entre éstas, una de las más importantes es la hoya o vega de Motril, resultado secular de los aportes del río Guadalfeo y los torrentes que descienden de Sierra Nevada y que forman en su conjunto un prominente delta.

El delta del río Guadalfeo se extiende desde los acantilados rocosos de La Guardia, a poniente, hasta el puerto de Motril, a levante, y puede dividirse en cuatro subtramos bien diferenciados (fig. 1): el primero va desde la playa de La Guardia, o Caleta de Salobreña, hasta el macizo rocoso del Peñón de Salobreña; el segundo, playa de Salobreña, desde dicho promontorio hasta la actual desembocadura del río Guadalfeo; el tercero, playa de la Cagailla o Cagadilla, discurre desde la actual hasta la primitiva desembocadura, Punta del Río; y por último, desde dicha Punta hasta el puerto de Motril, la playa del Pelaillo o Peladillo.

El primer y segundo tramo quedan separados por el Peñón de Salobreña, formando la llamada playa de La Guardia y la propiamente dicha playa de Salobreña. Según cartas marinas del siglo XVIII, el Peñón de Salobreña aparecía aislado de tierra firme, mientras que hoy día está unido a tierra sólidamente, esto hace que la playa de La Guardia se encuentre encajada y sus movimientos se reduzcan a pequeñas basculaciones, pérdidas y cambios del perfil, actuando el Peñón como barrera. Al este del Peñón, y apoyándose en él, discurre la playa de Salobreña y que llega hasta la actual desembocadura del río Guadalfeo. Esta fue encauzada y desplazada hacia el oeste respecto de la original, Punta del Río; a causa de esto el vértice principal del cono de deyección no se corresponde con la salida actual y está siendo desplazado paulatinamente hacia levante por el oleaje.

El tercer y cuarto tramo de este estudio, desde el río Guadalfeo hasta el puerto de Motril, comprende las playas llamadas de la Cagailla y del Pelaillo que se agrupan todas en la llamada playa de Poniente de Motril.

(*) Ingeniero Técnico de Obras Públicas. División de Estudios Litorales del Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPTMA).

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la División de Estudios Litorales del Sector de Costas del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPTMA).

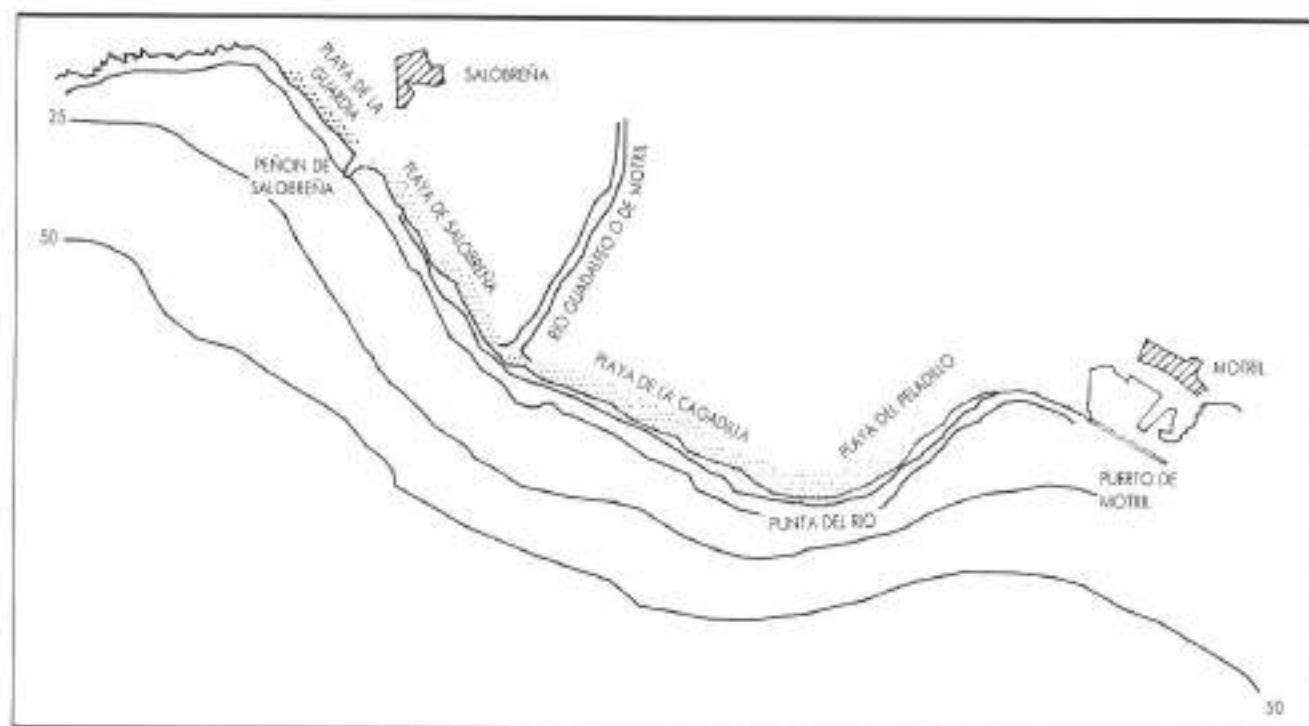


FIGURA 1. Entorno litoral del delta del río Guadalfeo.

3. ESTUDIO DEL PROBLEMA

Como se ha manifestado en la introducción de este artículo, recientemente aparecieron ciertas controversias acerca del estado evolutivo del delta y de cómo pudiera evolucionar en un futuro, ya que sobre la fuente aportadora de material a las playas, río Guadalfeo, se han tenido, tienen y tendrán actuaciones que han hecho y harán que disminuya significativamente el caudal sólido a aportar a la costa, con la consiguiente variación en las características evolutivas del delta.

4. CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL

El estudio del clima marítimo, que afecta a la costa del delta, se centró principalmente en el conocimiento del oleaje, dado que las demás variables climáticas tienen poco peso específico en la dinámica litoral y evolución de la costa.

A. OLAJE

La metodología seguida para estudiar el oleaje en el entorno al delta del río Guadalfeo puede resumirse en: la búsqueda de fuentes de información de datos de oleaje en altamar; el análisis y fiabilidad de dichos datos; el estudio de las direcciones y características de los datos de oleaje que alcanzan las costas en la zona en estudio, y la propagación de oleaje según las diferentes direcciones predominantes hasta alcanzar la costa del delta.

Las bases de datos utilizadas para este estudio fueron los datos visuales de oleaje suministrados por el «National Weather Records Center» (NWRC) y los datos escalares de oleaje facilitados por la Red Española de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) de este Centro.

Para definir las características del oleaje en altamar, frente al delta del río Guadalfeo, se consideró la malla de

datos de oleaje visuales del NWRC comprendida entre los paralelos $36^{\circ} 18'$ y $36^{\circ} 48'$ norte y los meridianos $3^{\circ} 12'$ y $3^{\circ} 48'$ oeste. El número total de observaciones visuales registradas hasta la fecha fue de 10,338, distribuidas de la manera que se muestra en la tabla 1.

TIPO DE OLAJE	SEA	SWELL
NUMERO DE OBSERVACIONES VALIDAS	5.428	2.552
NUMERO DE CALMAS	548	1.094
NUMERO DE CONRUSAS	207	209
NUMERO TOTAL DE OBSERVACIONES	6.483	3.855

TABLA 1.

La figura 2 muestra las frecuencias de presentación del oleaje en direcciones y alturas tanto para oleajes tipo SEA como SWELL.

Además se utilizaron los datos de las dos boyas más próximas al delta del río Guadalfeo, situadas en Málaga y en el cabo de Gata, pertenecientes a la REMRO. De la comparación de los datos suministrados por las boyas y las observaciones visuales, se pudo apreciar que los datos visuales se encontraban mayorados respecto a las boyas, dado que las máximas alturas de ola visuales eran de 6 metros, mientras que las boyas eran de 4 y 5 metros. Por otro lado las calmas

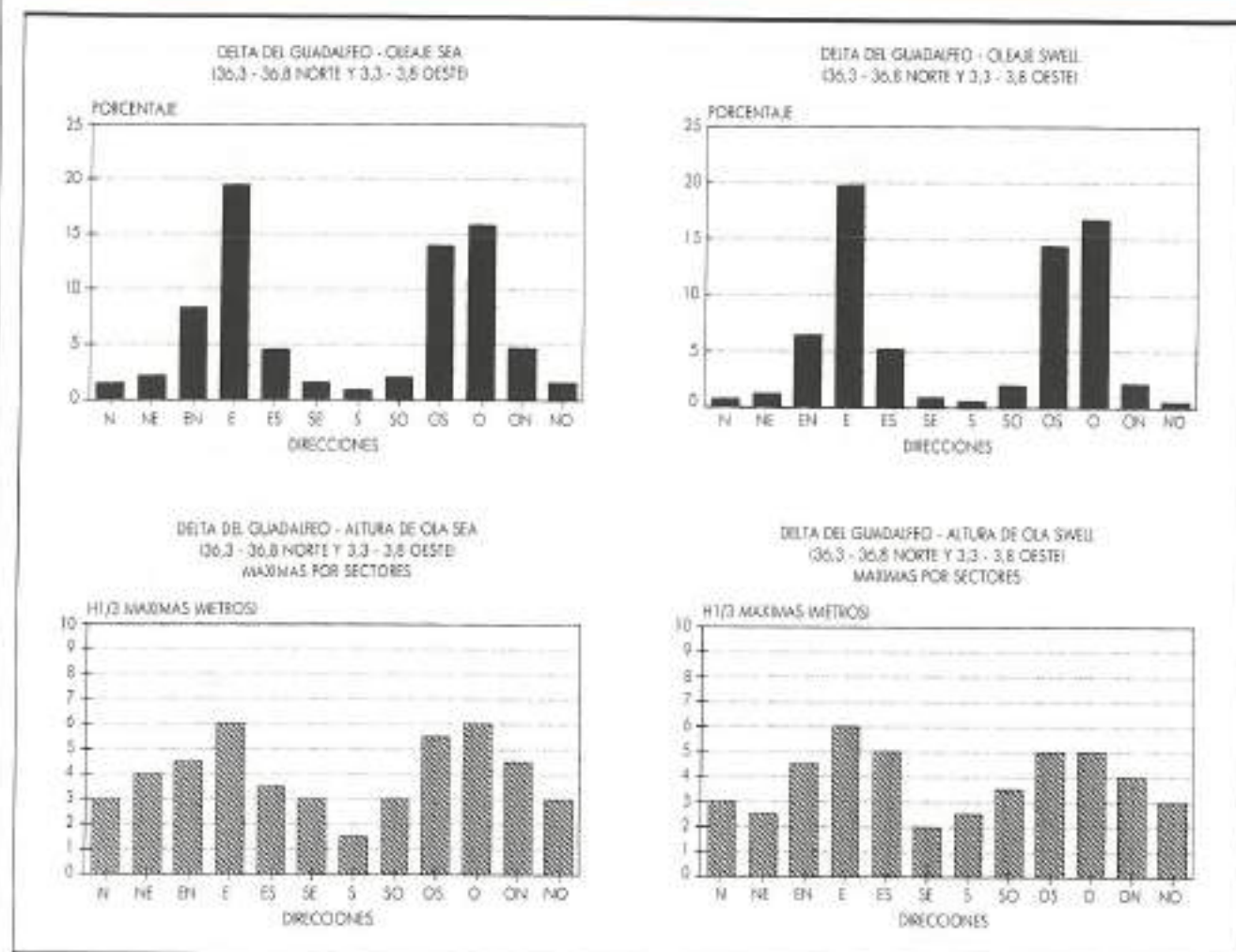


FIGURA 2. Datos de oleaje vividos en torno al delta del río Guadalfeo.

obtenidas, 11,9 % de SEA y 23,08 % de SWELL, se encontraban comprendidas entre las registradas por las boyas.

De acuerdo con la configuración litoral del delta, los oleajes que pueden incidir en la costa dependerán de la orientación en cada momento del delta. Así el delta puede dividirse, desde el punto de vista de la orientación de la costa, en tres subtramos: las playas de La Guardia y Salobreña; la playa de la Cagailla, y la playa del Pelaillo.

Los dos primeros subtramos se encuentran abrigados del oleaje en su extremo de poniente por la punta de la Mona, límite oriental de la playa de la Herradura de Almuñécar, no estando abrigados en su extremo de levante, con la única limitación de la propia línea de orilla. El tercero de los subtramos no posee abrigo en su extremo occidental, salvo la propia limitación de la costa, encontrándose abrigado en su extremo oriental por el cabo Sacratif, extremo de levante de la playa de Torrenueva de Motril. En la tabla 2 se resumen las orientaciones y los límites a los oleajes SEA y SWELL de los subtramos del delta del río Guadalfeo indicados anteriormente.

Con las limitaciones impuestas a la acción directa del oleaje, las direcciones predominantes, tanto para el oleaje

	P. SALOBREÑA	P. CAGAILLA	P. PELAILLO
NORMAL COSTA	234°	205°	132,5°
LÍMITE OCCID. (SEA Y SWELL) DE OLAJE	263°	276°	222°
	P. Mona	P. Mona	costa
LÍMITE ORIENT. (SEA Y SWELL) DE OLAJE	145°	116°	114°
	costa	costa	S. Sacratif

TABLA 2.

tipo SEA como SWELL, son: en las playas de La Guardia y Salobreña, casi en exclusividad los oleajes provenientes del oeste-sur, ya que el resto de las direcciones que recalán tienen una frecuencia de presentación y altura de ola muy bajas; en la playa de la Cagailla, los oleajes provenientes del oeste-sur, que recalán con una mayor oblicuidad que en las anteriores playas, y los provenientes del este-sur, si bien és-

tos tienen menor relevancia tanto en frecuencia de presentación como en altura de ola, y en la playa del Peladillo, donde los únicos oleajes de cierta importancia provienen del este-sur, incidendo en la costa con gran oblicuidad.

La estructura de la presentación del oleaje en estas costas es hiperanual; así pudieran existir años con persistentes oleajes de poniente, oeste-sur o años con predominancia clara de levantes, este-sur.

B. PROPAGACION DEL OLEAJE

Una vez digitalizada la zona de estudio, se procedió a propagar el oleaje según las direcciones principales que alcanzan la costa, tanto SEA como SWELL; estas direcciones son:

- 1.º Sur 60° oeste.
- 2.º Este 30° sur.

Los resultados obtenidos indicaban que los oleajes provenientes de la dirección sur 60° oeste llegan a las playas de La Guardia y Salobreña frontalmente, sin sufrir ninguna modificación. A partir de la desembocadura canalizada del río Guadalfeo, playa de la Cagailla, se produce una refracción, que comienza aproximadamente a la profundidad de -10 metros, con un giro de 10° en sentido contrario de las agujas del reloj. Esta tendencia y con ese grado de oblicuidad se mantiene hasta los frentes que alcanzan el antiguo delta del río Guadalfeo, Punta del Río. Tras pasar ésta los frentes de onda próximos a la costa, a partir de 10 a 20 metros, sufren una refracción mucho más acusada; girando en el sentido antihorario entre 30 y 60 grados. Los oleajes provenientes de la dirección este 30° sur se presentan en el delta prácticamente frontales a la playa del Peladillo, comenzando a producirse una refracción significativa cuando alcanzan la Punta del Río, donde se produce una desviación del frente de onda en el sentido horario de 20° en las cercanías de la Punta y alcanzando una desviación en el mismo sentido de 35° en las cercanías de la actual desembocadura. Dicho giro del frente se hace más acusado cuando se presenta en las playas de Salobreña y La Guardia, donde se alcanzan desviaciones próximas a 60° en el sentido horario.

En la tabla 3 se presentan las reducciones máximas que se producen al incidir el oleaje en la costa según las direcciones propagadas.

C. SEDIMENTOS Y FUENTES SEDIMENTARIAS

La unidad sedimentaria considerada, desde los acantilados de La Guardia hasta el puerto de Motril, es independiente respecto a la dinámica litoral; dado que la propia estructura y límites de oleaje, así como la profundidad y características de

PLAYA	DIRECCION DE PROPAGACION	
	S 60 O	E 30 S
LA GUARDIA	1	0,6
SALOBREÑA	1	0,7
CAGAILLA	0,9	0,8
PELADILLO	0,8	0,9

TABLA 3. Reducciones máximas de la altura de la ola.

la rasa de los acantilados y del dique que conforma el puerto de Motril es incompatible con un transporte de sedimentos a través de ellos, a no ser material muy fino que fuese transportado por suspensión, fracción ésta muy escasa en el material sedimentario que forman las rasas y playas del entorno.

Prácticamente la única fuente sedimentaria del delta del río Guadalfeo es el propio río, encontrándose hoy en día muy mermada dada la prácticamente total regulación del mismo, existiendo dos azudes próximos a la desembocadura. Asimismo, han sido frecuentes las extracciones de áridos del cauce, el cual se encuentra totalmente encauzado en su último tramo desde que, en la primera mitad de siglo, se desvió, cambiando la desembocadura desde la Punta del Río, antigua ubicación, hasta la actual.

En la actualidad se estima que solamente en grandes avenidas el río Guadalfeo puede aportar alguna cantidad de material a la unidad sedimentaria, por lo que puede suponerse prácticamente fijo el material existente en la unidad, salvo las pérdidas que pudieran existir transversalmente a la costa y las ocasionadas artificialmente, como los trasvases de arena que se han hecho a la playa de Torrenueva desde 1983 hasta 1991, cuyos volúmenes extraídos de la playa del Peladillo, según la documentación facilitada por el Servicio de Costas de Granada, son los que se muestran en la tabla 4.

AÑO	VOLUMEN (m³)
1983	60.000
1985	20.000
1986	97.000
1988	55.000
1991	30.000

TABLA 4. Volumen de material trasvasado de la playa del Peladillo a Torrenueva.

La playa seca y sumergida que forma el delta es, esencialmente, de arena gruesa, gravilla y grava.

D. TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

El transporte sólido litoral se estudió en dos fases:

1. Estudiando el sentido, dirección y valor cualitativo mediante el estudio de las formas costeras constituidas a lo largo del tiempo.
2. Determinándolo y cuantificándolo mediante dos métodos; primero, utilizando formulaciones teóricas, y segundo, usando los Planos de Evolución de la Línea de Costa.

A lo largo de la costa entre la playa de La Guardia y el puerto de Motril existen evidencias claras que indican el sentido e intensidad del transporte sólido litoral.

1.º El puerto de Motril ha ido acumulando a lo largo de los años gran cantidad de arena, lo que indica que el transporte sólido litoral neto a lo largo de la playa del Peladillo tiene un sentido claro oeste-este.

2.º La actual desembocadura del delta divide las playas de Salobreña al norte y de la Cagailla al sur y ha ido acumulando

do a lo largo de los años diverso material que ha acrecentado ambas playas, por lo que el transporte sólido litoral en este punto no parece tener una primacía clara, si bien depende del clima anual la preponderancia de los levantes o ponientes y, por tanto, un sentido u otro del transporte.

3.º La playa de La Guardia no parece que tenga un transporte longitudinal muy grande, a tenor de la forma rectilínea y encajada de la misma y la falta de acumulaciones a uno u otro extremo de la playa.

El cálculo teórico del transporte sólido litoral se efectuó en tres puntos distintos: playa de Salobreña; playa de la Cagailla y playa del Peladillo, utilizando la formulación de la Scripps Institution con el coeficiente por Komar:

$$H = K(E.Cg)_0 \text{ sen } 2A_0$$

Siendo H el peso sumergido del sedimento transportado en kg por segundo; $E.Cg$, el flujo de energía, y A la oblicuidad, todos ellos evaluados en el punto de rotura.

Los resultados teóricos obtenidos (en miles de metros cúbicos por año y signo positivo indicando sentido levante-poniente) se presentan en la tabla 5.

PLAYA	SEA		SWELL		TOTAL	
	BRUTO	NETO	BRUTO	NETO	BRUTO	NETO
SALOBREÑA	327,0	-232,5	461,5	-79,5	788,5	-312,0
CAGAILLA	862,8	-772,5	887,1	-818,3	1.749,9	-1.590,8
PELADILLO	35,6	-15,1	86,8	-51,6	122,4	-66,7

TABLA 5. Transporte sólido litoral teórico.

La desviación que se produce en el cálculo del transporte, al considerar, como en el presente estudio, gravilla como material sedimentario de las playas, es grande. Y así la «Hydraulics Research Station-Wallingford» propone para el caso de playas de grava una constante K de la fórmula del transporte de 0,035 en vez del valor normal para arenas de 0,385, lo que equivale en la práctica a una reducción próxima al 91 %. Por tanto, en el caso de gravillas debiera considerarse una reducción en la tasa del transporte intermedia entre los dos valores anteriormente calculados.

Además, para corregir las desviaciones existentes entre los datos visuales y los registros de boyas (como se ha visto anteriormente) se ha aplicado el trabajo «Calibración de los datos visuales y registros de boyas en el mar de Alborán y su aplicación al cálculo del transporte sólido» de José Manuel de la Peña Olivas y Francisco J. Sánchez Palomar, en el cual se determinan dos coeficientes correctores; C_{ed} , de la frecuencia de presentación y K_{pc} del transporte sólido litoral. En el mismo trabajo se determinan dichos coeficientes para Motril, dando:

$$(C_{ed})_{Motril} = 0,40$$

$$(K_{pc})_{Motril} = 0,31$$

Si se aplicasen las correcciones anteriores a los datos del transporte sólido litoral calculado anteriormente daría los valores mostrados en la tabla 6.

PLAYA	SEA		SWELL		TOTAL	
	BRUTO	NETO	BRUTO	NETO	BRUTO	NETO
SALOBREÑA	101,4	-72,1	143,1	-24,6	244,5	-96,7
CAGAILLA	267,5	-239,5	275,0	-253,7	542,5	-493,2
PELADILLO	11,0	-4,7	26,9	-16,0	37,9	-20,7

TABLA 6. Transporte sólido litoral teórico x Kpc.

Otra manera de calcular el transporte sólido litoral es utilizar los Planos de Evolución de la Línea de Costa. Para ello se ha dividido la costa occidental del delta del río Guadalfeo en cuatro tramos —playa de La Guardia (1), playa de Salobreña (2), playa de la Cagailla (3) y playa del Peladillo (4)—, determinándose para cada uno de ellos la variación de superficie que se ha producido entre dos líneas de costa. Así la pérdida o aumento de material en cada tramo vendrá representado por la variación de superficie multiplicado por la profundidad activa de la playa, habiéndose estimado ésta en 7 metros.

Una vez conocida la variación del volumen para cada tramo y considerando que el puerto de Motril es una barrera total al paso de sedimentos, el transporte sólido litoral que sale de cada tramo vendrá representado por:

$$Q_i = Q_{i-1} + \sum Vol_i$$

Teniendo como condición inicial que $Q_0 = 0$ (transporte de entrada en 1) y $Q_4 = 0$ (transporte de salida de 4) (barrera total). Asimismo se debe tener en cuenta que en el último tramo, playa del Peladillo, se han producido extracciones de material y entre el segundo, playa de Salobreña y el tercero, playa de la Cagailla, se sitúa la desembocadura del río Guadalfeo, por lo que en el sumando $\sum Vol_i$ tiene que venir incluido el aporte anual del río Guadalfeo (Ar).

Aplicando la ecuación anterior para los tramos en cuestión daría:

$$Q_0 = 0$$

$$Q_1 = \sum \text{pérdidas (1)}$$

$$Q_2 = Q_1 + \sum \text{pérdidas (2)} + Ar$$

$$Q_3 = Q_2 + \sum \text{pérdidas (3)} = \sum \text{acumulaciones (4)}$$

$$Q_4 = 0$$

El resultado de la evaluación del transporte sólido litoral por este método aparece en el cuadro adjunto, teniendo en cuenta para el último período considerado, 1977-1993, los siguientes supuestos:

1. En el momento de levantar la línea de costa en 1993, había un persistente temporal de poniente, por lo que la línea de orilla correspondía a un perfil de temporal, con el consiguiente retrancamiento de la línea de costa.
2. En dicho período se extrajo material (Ex) para la regeneración de las playas aguas abajo del puerto de Motril, especialmente la playa de Torrenueva, y que la merma de la playa por perfil de temporal es Mr , el aporte anual del río Guadalfeo en dicho período vendría dado para el período considerado por (tabla 7):

$$Ar = Ex / 16 - 36.065 + 7.500 Mr$$

PLAYA		1947-57	1957-73	1973-77	1977-93
LA GUARDIA	Q1	5.670	298	10.395	-3.714
SALOBREÑA	Q2	33.250	24.451	21.893	14.372
CAGAILLA	Q3	42.840	21.459	38.745	27.369
PELADILLO					

TABLA 7. Transporte neto anual en cada período.

Si se comparan estos datos del transporte sólido litoral, figura 3, determinados por la evolución de la costa, y los determinados teóricamente, se aprecia que ambos tienen la misma tendencia, si bien los valores dados teóricamente son mucho mayores de los determinados por evolución de la costa. Ello puede explicarse por dos motivos: el primero de ellos es que el cálculo se ha efectuado suponiendo que el material sólido transportado es arena media, hecho que no es cierto, dado que el material puede clasificarse como arena gruesa, gravilla y grava, lo que ocasionaría una reducción en el coeficiente K' de la fórmula del transporte que podría alcanzar más del 90 %; el segundo de los motivos es que la fórmula del cálculo del transporte sólido litoral determina la capacidad de transporte que tiene ese oleaje con las condiciones apuntadas, que en determinados momentos pudieran exceder en mucho al transporte sólido litoral real.

Además, al calcular teóricamente el transporte sólido litoral, se están cometiendo errores al asumir ciertas hipótesis no válidas en su totalidad en los casos donde la costa se aleja ciertamente de la configuración ideal que se la ha supuesto y donde los datos de oleaje no se encuentran lo suficientemente contrastados. Pero, también, no es menos cierto que la determinación del transporte sólido litoral neto mediante los Planos de Evolución de la Línea de Costa puede dar lugar a errores, tanto intrínsecos en ellos mismos como por desconocimiento de la variación de unos determinados parámetros; como puede ser la pendiente de la playa, tanto sumergida como seca; el aumento de reflexiones del oleaje debido a nuevas construcciones, etc.

Además, al calcular teóricamente el transporte sólido litoral, se están cometiendo errores al asumir ciertas hipótesis no válidas en su totalidad en los casos donde la costa se aleja ciertamente de la configuración ideal que se la ha supuesto y donde los datos de oleaje no se encuentran lo suficientemente contrastados. Pero, también, no es menos cierto que la determinación del transporte sólido litoral neto mediante los Planos de Evolución de la Línea de Costa puede dar lugar a errores, tanto intrínsecos en ellos mismos como por desconocimiento de la variación de unos determinados parámetros; como puede ser la pendiente de la playa, tanto sumergida como seca; el aumento de reflexiones del oleaje debido a nuevas construcciones, etc.

5. EVOLUCION HISTORICA DEL DELTA

La evolución producida a lo largo del tiempo en el delta se ha estudiado, principalmente, a través de tres fuentes de información:

1. Cartas náuticas y mapas geográficos, levantados a lo largo de la historia: Para la zona de estudio se han podido contar con dos cartas náuticas; la núm. 672 de 1872 y la núm. 456 de 1960 y con dos planos geográficos: la hoja 1.055 del Instituto Geográfico y Catastral de 1940 y la hoja 1.055 del Servicio Geográfico del Ejército. Estando cartas y planos a la misma escala, 1/50.000, lo que facilita su comparación.

2. Fotografías aéreas verticales de proyección estereoscópica: Para el delta del río Guadalfeo se ha contado con un total de siete vuelos fotográficos verticales, complementados con dos más, de junio de 1947 y de noviembre de 1977, de los que no se han utilizado directamente sus fotografías, pero sí sus restituciones fotogramétricas, de las que en párrafos posteriores se hará referencia. Las fotografías aéreas utilizadas directamente corresponden a los años y escalas mostrados en la Tabla 8.

3. Restitución de la línea de costa mediante fotografías aéreas: Vienen reflejadas en los llamados Planos de Evolu-

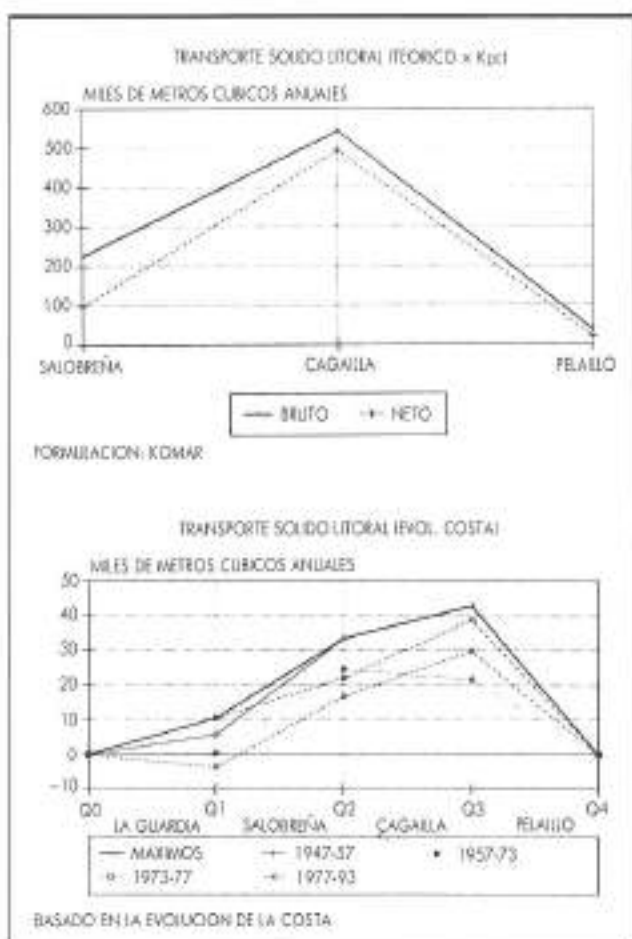


FIGURA 3. Transporte sólido litoral a lo largo del delta del río Guadalfeo calculado por formulación teórica y mediante los planos de evolución de la línea de costa.

FECHA	ESCALA
ENERO DE 1957	1/33.000
DICIEMBRE DE 1973	1/18.000
DICIEMBRE DE 1981	1/12.000
AGOSTO DE 1985	1/18.000
JUNIO DE 1989	1/5.000
OCTUBRE DE 1992	1/15.000
MARZO DE 1993	1/14.000

TABLA 8. Fotografías aéreas verticales.

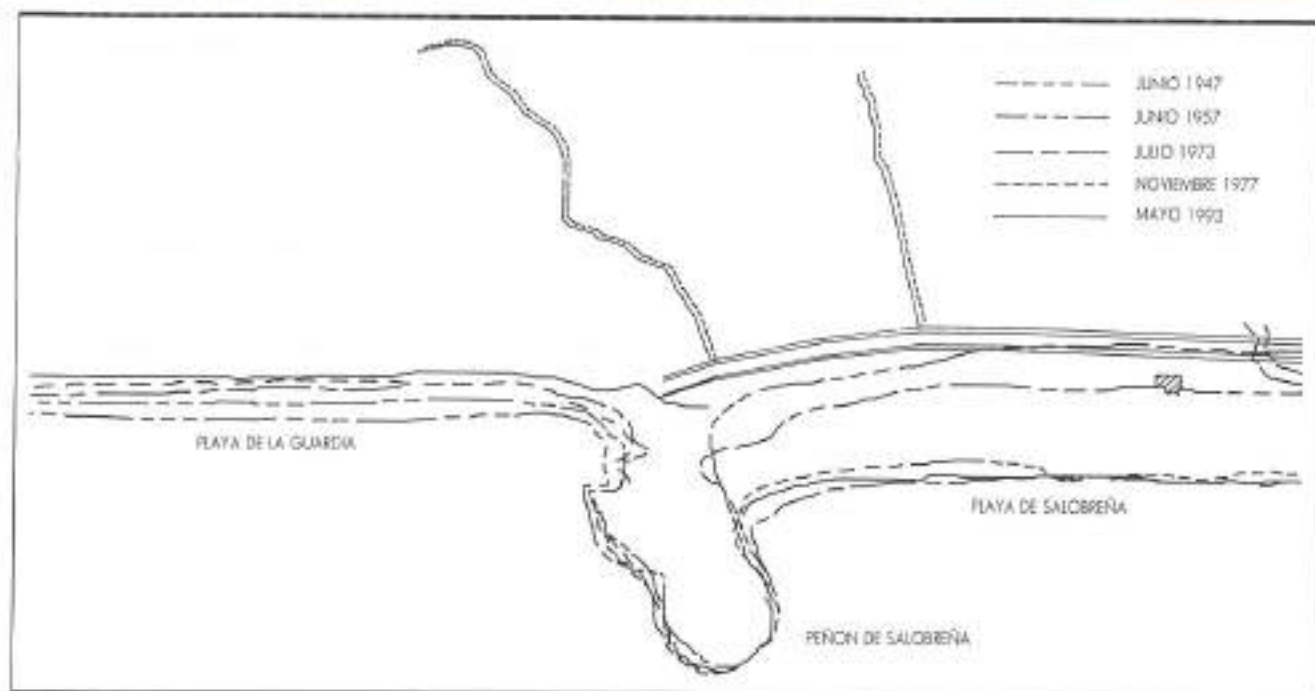


FIGURA 4. Plano de evolución de la línea de costa en torno del peñón de Salobreña.

ción de la Línea de Costa que reproducen la línea de orilla de los años 1947, 1957, 1973, 1977 y 1993.

La base principal para conocer la evolución en el tiempo de la línea de costa la forman los Planos de Evolución de la Línea de Costa, complementados con las fotografías aéreas, cartas náuticas y planos geográficos.

Para el análisis de la evolución producida en la línea de costa del delta, comprendida entre los acantilados de La Guardia y el puerto de Motril, se ha dividido ésta en cuatro tramos:

- 1.º Playa de La Guardia, desde los acantilados de La Guardia hasta el Peñón de Salobreña.
- 2.º Playa de Salobreña, desde el Peñón de Salobreña hasta la desembocadura del río Guadalfeo.
- 3.º Playa de la Cagailla, desde la desembocadura del río Guadalfeo hasta la punta del río (antigua desembocadura).
- 4.º Playa del Peladillo, desde la punta del río hasta el puerto de Motril.

El primer tramo, playa de La Guardia, figura 4, de 1.200 metros de longitud, ha ido retrocediendo a ritmo lento pero constante, dada la escasa cantidad de material que el oleaje es capaz de transportar a través del Peñón de Salobreña. Los valores medios del retroceso sufrido por la línea de orilla entre líneas de costa consideradas en los Planos de Evolución de la Línea de Costa vienen reflejados en la tabla 9.

Así pues, salvo en el período comprendido entre 1973-93 donde las pérdidas fueron escasas y menores si se tiene en cuenta que la línea de orilla de 1993 se levantó con perfil de temporal, lo que se ha estimado como una pérdida mínima de playa de 5 metros.

En el segundo tramo, playa de Salobreña, figuras 4 y 5, de 1.600 metros de longitud, se encuentra su estado evoluti-

vo ligado a los cambios efectuados en el estado natural primitivo del delta; así hasta que no se varió la desembocadura del río Guadalfeo, las playas de Salobreña, Cagailla y probablemente La Guardia formaban una playa continua mucho más retrasada que la actual línea de costa. Una vez desviado el río Guadalfeo de su cauce primitivo y situada su nueva desembocadura en su emplazamiento actual, al playa, inicialmente continua y rectilínea, fue cortada artificialmente, variando grandemente sus condiciones respecto a la dinámica litoral de la costa. Así la playa de Salobreña fue creciendo de manera continuada y rápida, alcanzando variaciones en la línea de costa que se han estimado en más de 250 metros para el período comprendido entre 1940 y 1986, y más de 400 metros si se remonta al período comprendido entre 1872 y 1986.

Los valores anteriores vienen corroborados si se retrotrae al período de tiempo en el que existe Plano de Evolución de la Línea de Costa, 1947 a 1993. Las variaciones medias que ha experimentado la línea de costa en estos períodos vienen reflejados en la tabla 10.

PERIODO	MEDIA PERIODO (metros)	MEDIA ANUAL (metros/año)
1947-57	-6,75	-0,68
1977-73	-3,98	-0,25
1973-77	-4,95	-1,24
1973-93	-4,35	-0,27

TABLA 9. Variación media de la línea de orilla «Playa de La Guardia».

PERIODO	MEDIA PERIODO (metros)	MEDIA ANUAL (metros/año)
1947-57	24,36	2,44
1957-73	46,40	2,90
1973-77	-2,70	-0,69
1973-93	-11,35	-0,74

TABLA 10. Variación media de la línea de orilla «Playa de Salobreña».

Entre 1973 y 1977 comenzaron a producirse las primeras erosiones, aunque no de importancia, en la playa, que en líneas generales se había estabilizado. Entre 1977 y 1993 comienzan a producirse grandes desequilibrios en la línea de costa, manteniéndose estable la zona próxima al Peñón de Salobreña y disminuyendo de manera considerable junto a la desembocadura del río Guadalfeo, sin duda por la conjunción de la disminución del aporte sólido del río, como se puede apreciar en la tabla 11, y las reflexiones del oleaje que los diques de encauzamiento producían.

En el tercer tramo, playa de la Cagailla, figura 5, de 2.400 metros, se encuentra su evolución, también, ligada a las variaciones que se han efectuado en el estado natural primitivo del delta del río Guadalfeo, siendo válidas todas las precisiones y comentarios que sobre ello se han vertido en el párrafo anterior. Así la playa de la Cagailla fue creciendo paulatinamente en su tramo más occidental en las proximidades de la nueva boca de salida del río Guadalfeo, alcanzando variaciones en la línea de costa que se han estimado en cerca de 125 metros para el período comprendido entre 1940 y 1986, de cerca de 300 metros si se remonta al período comprendido entre 1872 y 1986. En su tramo oriental, Punta del Río, la playa experimentó un retroceso desde 1872 hasta 1986 de cerca de 100 metros, si bien desde 1940 el retroceso detectado en este punto es mínimo.

Los valores anteriores se complementan con los que proporcionan los Planos de Evolución de la Línea de Costa, 1947 a 1993. Las variaciones medias que ha experimentado la línea de costa en estos períodos vienen reflejados en la tabla 12.

PERIODO	MEDIA ANUAL (m ³ /año)
1947-57	54.840
1957-73	54.848
1973-77	3.781
1973-93	17.810

TABLA 11. Aporte sólido del río Guadalfeo.

El cuarto tramo, playa del Peladillo de 2.300 metros, figura 6, ha ido creciendo al amparo del puerto de Motril, realizada tras largos avatares en el primer cuarto de siglo. Así hasta la construcción del puerto las playas del delta continuaban hasta la playa de Torrenueva. Tras construirse éste, se comenzó a acumular gran cantidad de material sedimentario a resguardo del dique, continuando hasta hoy en día, habiéndose producido un avance de la línea de orilla en torno a los 190 metros en el período comprendido entre 1940 y 1993 y este avance alcanza los 500 metros si el período considerado es desde 1872 hasta 1993, todo ello sin tener en cuenta las extracciones de arena que se han realizado en los últimos años para su posterior vertido en la playa de Torrenueva.

Si se retrotrae al período que existen Planos de Evolución de la Línea de Costa, 1947 a 1993, las variaciones medias

PERIODO	MEDIA PERIODO (metros)	MEDIA ANUAL (metros/año)
1947-57	-5,74	-0,57
1957-73	2,85	0,18
1973-77	-4,01	-1,00
1973-93	-23,80	-1,49

TABLA 12. Variación media de la línea de orilla «Playa de la Cagailla».

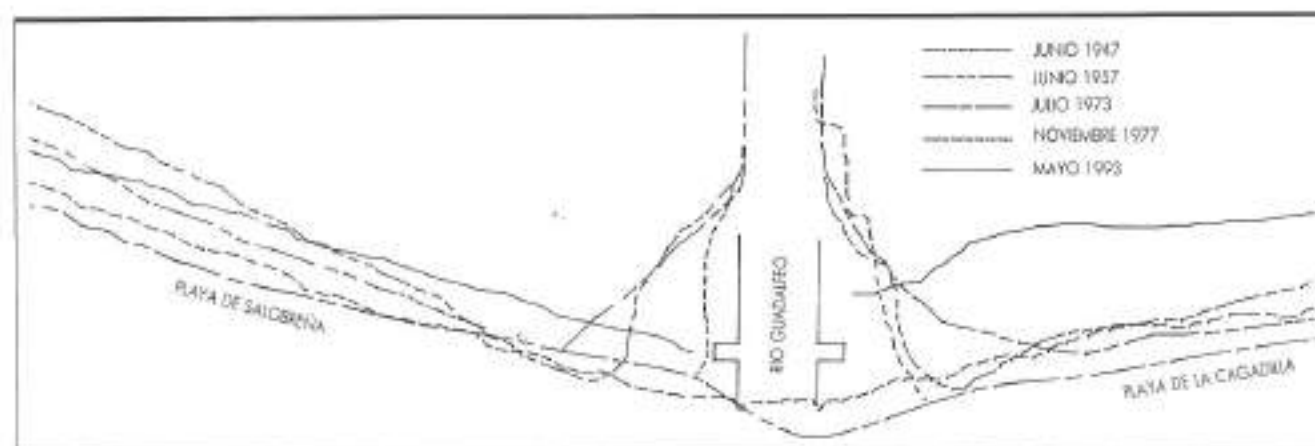


FIGURA 5. Plano de evolución de la línea de costa en torno a la desembocadura del río Guadalfeo.

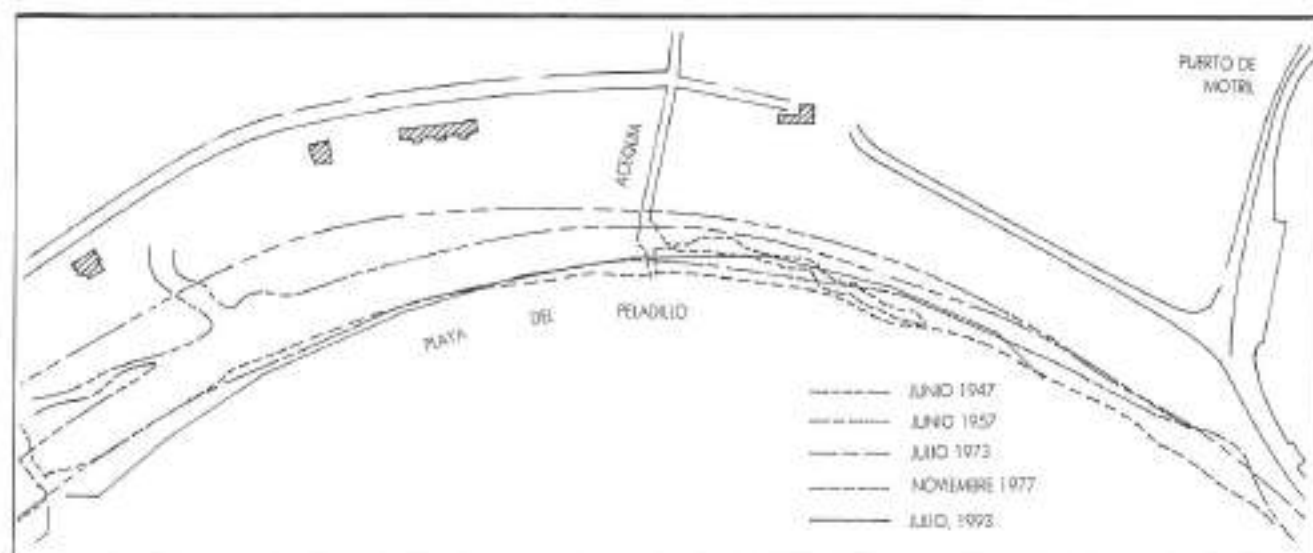


FIGURA 6. Plano de evolución de la línea de costa en torno al puerto de Motril.

experimentadas de la línea de costa serían las mostradas en la tabla 13.

A modo de resumen histórico de la evolución del delta podría indicarse que:

Hasta el siglo pasado el río Guadalfeo continuaba con sus aportes formando un delta prominente desde su desembocadura situada en la actual Punta del Río. Tras la construcción del puerto de Motril en la primera mitad de este siglo y el desvío del cauce del río Guadalfeo, haciéndolo desembocar en la cara occidental del delta, las condiciones de dinámica litoral que conformaban la línea de costa cambiaron radicalmente. Así la margen occidental del delta comenzó a crecer ostensiblemente, generando un nuevo delta. Este crecimiento llevó, seguramente, a unir el actual Peñón de Salobreña con la costa, comenzar el relleno de la playa de Salobreña y generar grandes acumulaciones de material apoyadas en el dique del puerto de Motril en detrimento de las playas aguas abajo, de Las Azucenas y Torrenueva, al interrumpir el caudal sólido. La variación general producida en todo el delta desde el siglo pasado, carta náutica núm. 672 de 1872, puede seguirse en el plano de evolución realizado a partir de las dos cartas náuticas y los dos planos geográficos mencionados anteriormente, figuras 7.

En los últimos años, se acometieron diversas obras en el cauce del río Guadalfeo (construcción de dos azudes, encau-

zamiento y protección de las márgenes, construcción de diques de encauzamiento de su desembocadura...), se extrajeron de forma continuada áridos de su lecho y comenzó un crecimiento fuerte de su agricultura con la plantación masiva de árboles frutales tanto en la ribera del río como en las montañas. Todas estas variaciones en las condiciones del río Guadalfeo hicieron que los aportes de sedimentos disminuyeran radicalmente, como se ha podido apreciar en el cuadro adjunto, «Aporte sólido del río Guadalfeo», lo que ha originado ciertos desequilibrios en la unidad fisiográfica independiente.

Además de las obras realizadas en el río Guadalfeo, en los últimos años se ha pasado de existir una playa virgen, en continuo crecimiento y ganancias de tierra para la agricultura, a un crecimiento de la actividad turística, asentándose, en algunos casos, en tierras muy recientemente ganadas al mar, tal es el caso del paseo marítimo construido en la playa de Salobreña entre 1973 y 1977 en parte de terrenos que eran mar en 1947 y que estaban totalmente dentro del mar en 1940. Todo ello ha llevado parejo una falta de flexibilidad en el movimiento sedimentario que se deja a la playa, obligando únicamente a un crecimiento de la misma o un mantenimiento de la línea de orilla, afectándole grandemente los ciclos verano-invierno, esto es, los estados extremos de perfil de bonanza y perfil de temporal, pudiendo en algún momento afectar a estos ciclos naturales las obras realizadas en las proximidades de la orilla, agravando la situación actual.

En conclusión puede indicarse que todo el tramo de costa en estudio, desde la playa de La Guardia hasta el puerto de Motril, ha pasado de un crecimiento continuo y generalizado, hasta 1973, a encontrarse en un desequilibrio en el que zonas se encuentran en crecimiento y zonas en erosión, no teniendo en conjunto grandes pérdidas ni aportes.

6. EVOLUCION FUTURA DEL DELTA

A la vista de la evolución histórica que se ha producido en todo el delta del río Guadalfeo, de los condicionantes que han desencadenado tal evolución y de los condicionantes añadi-

PERIODO	MEDIA PERIODO (metros)	MEDIA ANUAL (metros/año)
1947-57	26,61	2,67
1957-73	21,33	1,33
1973-77	9,62	2,40
1973-93	-0,50	-0,03

TABLA 13. Variación media de la línea de orilla «Playa del Peladillo».

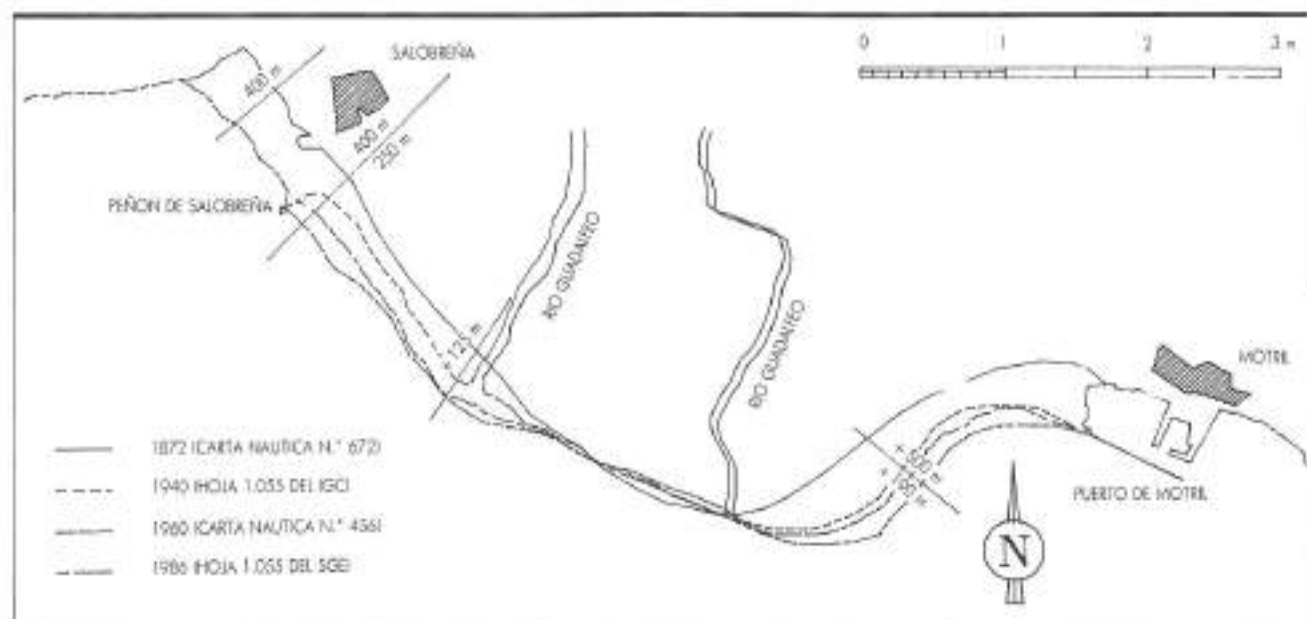


FIGURA 7. Plano de evolución de la línea de costa del delta del río Guadalfeo.

dos para el futuro, puede preverse la reacción y evolución más probable que tendrá la costa.

Dado que en un futuro se prevé la construcción de una presa sobre el río Guadalfeo, a pocos kilómetros aguas arriba de los azudes, es de esperar que continúen en disminución los aportes del río, hoy en día muy mermados, y por tanto sigan las descompensaciones sedimentarias en el sector. Así, por ejemplo, si se supone un aporte del río Guadalfeo (A_r) nulo, o casi nulo, a efectos prácticos, las erosiones medias anuales previsibles para cada playa vendrían dadas por la descompensación de material que entra (Q_{i-1}) y la que sale (Q_i) de cada playa. Si se tomasen valores mínimos y valores máximos del transporte Q_{i-1} y Q_i determinados mediante los Planos de Evolución de la Línea de Costa, se tendría que cada playa necesitaría el aporte (+) o tendría el exceso (-) mostrados en la tabla 14.

Por lo que cada una de las playas que forman el delta tendrían unas acumulaciones o erosiones anuales dadas por el cuadro anterior.

7. DEDICATORIA

Este artículo está dedicado a la memoria de mi amigo y compañero el ingeniero técnico de Obras Públicas don Pedro José Ro-

dríguez Berzosa, con el que tuve el orgullo y privilegio de trabajar en sus últimos años (José Manuel de la Peña Olivas).

8. BIBLIOGRAFIA

- GRASSA GARRIDO, J. M. «Evaluación del transporte de sedimentos paralelo a la orilla empleando observaciones visuales de oleaje y teoría conoidal de ondas». *Ingeniería Civil*, 66. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid, 1988.
- GRASSA GARRIDO, J. M. «Modelos parabólicos de refracción y difracción». Centro de Estudios de Puertos y Costas. Madrid, 1990.
- VIGUERAS GONZALES, M., y PEREZ BELLOD, J. «Costas de España y averías en sus puertos (Sector de la costa entre los ríos Gadiana y Guadalfeo y sector de costa desde el cabo San Antonio hasta Motril)». Comisión Administrativa de Puertos. Madrid, 1956.
- KIYOSHI HORIKAWA. «Nearshore dynamics and coastal processes». University of Tokyo Press. Tokio, 1988.
- DE LA PEÑA OLIVAS, J. M.; SANCHEZ PALOMAR, F. J., y RODRIGUEZ BERZOSA, P. «Metodología para el estudio de la evolución histórica de la Línea de Costas». *Ingeniería Civil*, 87, diciembre de 1992.
- DE LA PEÑA OLIVAS, J. M., y SANCHEZ PALOMAR, F. J. «Comparación de datos visuales y registros de boyas del oleaje en el mar de Alborán». *Ingeniería Civil*, 77, 1990.
- ARJA RIVARES, E. «Geografía de España» (Tomo I). Espasa-Calpe. Madrid, 1972.
- COSTA MORATO, P., y PACHECO OSA, T. «Guía natural de las costas españolas». ICONA, 1990.
- REY, JORGE J., y MEDIALDEA, T. «Los sedimentos cuaternarios superficiales del margen continental español». Publicaciones especiales (INO-MAPA). Madrid, 1989.
- PILARCZYK, K. W., y otros. «Manual on artificial beach nourishment». Centre for Civil Engineering Research, Codes and Specifications (Rijkswaterstaal-Delft Hydraulics-Report 130), Delft, 1987.
- «Recomendaciones para las obras marítimas (Rom 0-3-91). Oleaje». Anejo I. Clima marítimo en el litoral español. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, 1992.

PLAYA	MINIMO	MAXIMO
LA GUARDIA	-3.716	10.395
SALOBREÑA	11.498	27.580
CAGAILLA	-2.991	12.997
PELADILO	-21.459	-42.840

TABLA 14. Descompensación de material (metros cúbicos/año).