



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

4.4 - ESTUDIO DE LA DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTA DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS:

**ESTUDIO DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA
COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS
DE LOS RÍOS GUADIANA Y GUADALQUIVIR**

INFORME PARCIAL

Clave CEDEX: 22-410-5-001

Madrid, junio de 2013



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

4.4 - ESTUDIO DE LA DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTA DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS:

ESTUDIO DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS GUADIANA Y GUADALQUIVIR

INFORME PARCIAL

Clave CEDEX: 22-410-5-001

Madrid, junio de 2013

Centro de Estudios de Puertos y Costas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**4.4 - ESTUDIO DE LA DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y
PROPUESTA DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS:
ESTUDIO DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE LAS
DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS GUADIANA Y GUADALQUIVIR**

INFORME PARCIAL

CLIENTE:

Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO
DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo. José María Grassa Garrido

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a 3 de junio de 2013

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez



SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.



4.4 - ESTUDIO DE LA DINÁMICA LITORAL, DEFENSA Y PROPUESTA DE MEJORA EN LAS PLAYAS CON PROBLEMAS:

ESTUDIO DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS GUADIANA Y GUADALQUIVIR (Informe parcial)

(CLAVE CEDEX: 22-410-5-001)

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Objeto del informe técnico	5
1.2 Antecedentes	5
1.3 Bases, fuentes y soporte técnico de este informe	7
1.4 Actuaciones en la costa onubense	8
1.5 Estructura del informe técnico	19
2. ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA COSTA ONUBENSE	20
2.1 Descripción geomorfológica del entorno litoral	20
2.2 Unidades fisiográficas-Tramos costeros	24
2.3 Obras más importantes	25
2.3.1 Dique-espigón portugués	25
2.3.2 Diques de encauzamiento del puerto de Isla Cristina	25
2.3.3 Dique de Punta Umbría	25
2.3.4 Dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva	27
2.3.5 Puerto de Mazagón	27
2.4 Formaciones costeras singulares	28
2.4.1 Desembocadura del río Guadiana	29
2.4.2 Flecha del Rompido	31
2.4.3 Flecha de Punta Umbría	32
2.4.4 Flecha de Huelva	32
2.4.5 Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir	33
2.5 Descripción de las playas	34
2.5.1 Playa de Isla Canela	36
2.5.2 Playa de la Antilla	37
2.5.3 Playa de Punta Umbría	40
2.5.4 Playa de la Flecha de Huelva	41
2.5.5 Playa de Castilla	41
2.6 Descripción de la plataforma costera	44
2.7 Red fluvial	45
2.7.1 Río Guadiana	45
2.7.2 Río Carreras o Cabrerías	46
2.7.3 Río Piedras	46
2.7.4 Río Odiel	46
2.7.5 Río Tinto	47
2.7.6 Río Guadalquivir	47



3. CLIMA MARÍTIMO	48
3.1 Oleaje	48
3.1.1 Fuentes de datos de oleaje	48
3.1.2 Oleaje en la costa occidental de Huelva	50
3.1.3 Oleaje en la zona centro y occidental de Huelva	52
3.1.4 Límites de oleaje	53
3.2 Viento	58
3.2.1 Vientos en la costa Sur-Atlántica	58
3.2.2 Vientos en la costa de la Bahía de Huelva	59
3.3 Corrientes	59
3.3.1 Corrientes generales	60
3.3.2 Corrientes locales inducidas por el viento	60
3.3.3 Corrientes inducidas por el oleaje	61
3.3.4 Corrientes de marea	61
3.4 Variaciones del nivel del mar	61
3.4.1 Marea astronómica en las costas de Huelva	63
4. DINÁMICA LITORAL.....	65
4.1 Sedimentos	65
4.1.1 Fuentes y sumideros	65
4.1.2 Aportes del río Guadiana	68
4.1.3 Fuentes de datos de las características de los sedimentos.....	70
4.1.4 Características de los sedimentos: Tramo Guadiana-Flecha del Rompido.....	70
4.1.5 Características de los sedimentos: Tramo Punta Umbría.....	73
4.1.6 Características de los sedimentos: Tramo Huelva.....	75
4.1.7 Características medias de los sedimentos: Tramo Guadiana-Huelva	76
4.2 Propagación de oleaje.....	77
4.2.1 Propagación de oleaje en el entorno de la desembocadura del río Guadiana	77
4.2.2 Propagación de oleaje en el entorno de la Flecha del Rompido	82
4.2.3 Propagación de oleaje en el entorno de Punta Umbría	84
4.2.4 Propagación de oleaje en el entorno de Huelva	85
4.3 Transporte sólido litoral	87
4.3.1 Transporte longitudinal de sedimentos. Tramo I: Desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido	87
4.3.2 Transporte longitudinal de sedimentos. Tramo II: Flecha del Rompido – Desembocadura del río Guadalquivir.....	98
4.4 Profundidad de Cierre en la costa de Huelva	104
4.5 Transporte eólico.....	107
5. EVOLUCIÓN DE LA COSTA.....	111
5.1 Fuentes de información	111
5.1.1 Fuentes cartográficas.....	111
5.1.2 Levantamientos topo-batimétricos	112
5.1.3 Fotografías aéreas verticales	112
5.1.4 Planos de Evolución de la Línea de Costa	112
5.1.5 Estudios geomorfológicos	112
5.1.6 Estudios hidrodinámicos	113
5.1.7 Fotografías aéreas oblicuas, panorámicas y horizontales	113
5.2 Etapas evolutivas	113
5.3 Evolución en la antigüedad	114
5.4 Evolución en el pasado.....	118



5.5 Evolución reciente.....	123
5.5.1 Evolución reciente. Tramo I: Desembocadura del río Guadiana a Flecha del Rompido	123
5.5.2 Evolución reciente. Tramo II: Flecha del Rompido a desembocadura del río Guadalquivir.....	127
6. ZONAS CON PROBLEMAS Y VARIABLES QUE LOS DEFINEN	132
6.1 Tendencia evolutiva y transformaciones en la desembocadura del río Guadiana	132
6.2 Tendencia evolutiva y transformaciones en la Flecha del Rompido	135
6.3 Tendencia evolutiva y transformaciones en Punta Umbría	137
6.4 Tendencia evolutiva y transformaciones en la flecha de Huelva	139
6.5 Tendencia evolutiva y transformaciones en la flecha de Doñana.....	142
7. CONCLUSIONES	144

ANEJOS:

A-I: Referencias bibliográficas

A-II: Planos de evolución de la costa Guadiana-Isla Cristina



ESTUDIO DE ACTUACIÓN DEL TRAMO DE COSTA COMPRENDIDO ENTRE LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS
GUADIANA Y GUADALQUIVIR
(Informe parcial)

CEDEX

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO DEL INFORME TÉCNICO

El presente informe técnico se redacta a solicitud de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, dentro del marco de cooperación plasmado en el convenio de colaboración entre la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar y el Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, mediante un acuerdo para la Encomienda de Gestión para la realización de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico.

El objetivo del trabajo se centra en estudiar todo el frente costero de la provincia de Huelva – entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Guadalquivir, basándose para ellos en todos los trabajos y datos efectuados en la zona. Una vez efectuado esto; detectar las zonas con problemas y vislumbrar una solución de alcance, teniendo en cuenta las variables que conforman el problema, incluyendo entre ellas la urbanización que se asienta en la zona y los múltiples valores paisajísticos, ambientales y de todo tipo del área.

Este trabajo se acometería en dos fases:

- En la primera Fase: se abordaría la definición y recopilación de la información existente para identificar el estado y comportamiento de la costa onubense; con todas las herramientas necesarias para conocer los problemas costeros que presenta esta costa.
- En segunda Fase: se propondrían las actuaciones, se priorizarían estas y se marcarían los ritmos de ejecución. Proponiendo la elaboración de un programa de seguimiento.

Formalmente, los puntos a desarrollar en este Informe que contendría toda la fase I, se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Estudio morfológico de la costa onubense
2. Clima marítimo: oleaje, viento y variaciones del nivel del mar
3. Dinámica litoral
4. Evolución de la costa
5. Zonas con problemas y variables que lo definen

1.2 ANTECEDENTES

El conjunto de las playas que forman el frente costero onubense, que se desarrolla desde la desembocadura del río Guadiana hasta la desembocadura del río Guadalquivir, han sido objeto de diferentes estudios, entre los que se destacan, por centrarse en el problema objeto de este informe, los siguientes:

1. “Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense: provincias de Cádiz y Huelva” (1979). Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" (para la Dirección General de Puertos y Costas; Subdirección General de Ordenación y Programación.
2. “Estudio previo de regeneración de la playa de Matalascañas (Huelva)” (1979). Autor: José María Berenguer Pérez. / Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" del CEDEX.
3. “Seguimiento de las obras de defensa de las playas de Matalascañas (Huelva)” (1983). Autor: José María Berenguer Pérez. Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y



- Costas “Ramón Iribarren” (Informe técnico para la Dirección General de Puertos y Costas).
4. “Dinámica litoral de la Flecha del Rompido (Huelva)”. (1991). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-417-9-098, para la Dirección General de Puertos y Costas).
 5. “Dinámica litoral de la zona de Punta Umbría (Huelva)”. (1991). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-491-9-103, para la Dirección General de Puertos y Costas).
 6. “Estudio sobre la dinámica sedimentaria del tramo exterior del canal del Puerto de Huelva”. (1991). Autor: José Manuel de la Peña Olivas. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-491-9-104, para la Dirección General de Puertos y Costas).
 7. “Evolución de la playa apoyada en el dique Juan Carlos I (Huelva)” (1995). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-494-9-126 para Puertos del Estado).
 8. “Evolución de la playa apoyada en el dique Juan Carlos I (Huelva)” (1996). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-496-9-137 para Puertos del Estado).
 9. “Estudio de dinámica litoral y propuesta de actuación entre la desembocadura del río Guadiana y del río Carreras (Huelva)”. (1996). Autor: Antonio Lechuga Álvaro. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-496-5-059, para la Dirección General de Costas).
 10. “Estudio de la operatividad e influencia de una marina en el estuario del río Guadiana (Huelva)” (1996). Autora: Ana Lloret Capote. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 23-596-5-012 para el Gabinete de Estudios Ambientales).
 11. “Dinámica litoral y análisis evolutivo de las formaciones costeras entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Carreras”. (1997). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-997-5-009, para la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas).
 12. “Estudio de dinámica litoral y propuesta de actuación entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Carreras”. (1997). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-496-5-059, para la Dirección General de Costas).
 13. “Estudio previo de trasvase de arenas en la ría de Huelva” (1999). Autor: José María Medina Villaverde. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-499-9-152 para Puertos de Estado).
 14. “Estudio del estuario del río Guadiana”. (2003). Autor: José Manuel de la Peña Olivas. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 22-403-5-110, para la Dirección General de Costas).
 15. “Estudios ambientales de actuaciones específicas. Evaluación del material a dragar en el puerto de Mazagón (Huelva) para su aprovechamiento en la regeneración de playas”. (2010). Autora: Aida Velasco Munguira. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (clave nº: 20-410-5-001, para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar).

Además, se han generado, entre otras, las siguientes publicaciones:

- Medina, José María y José M. de la Peña (1992). “Formaciones costeras onubenses”, Revista de Ingeniería Civil nº 83, 105-110.
- Medina, José María (1991). “La flecha del rompido en la dinámica litoral de la costa onubense”, Revista de Ingeniería Civil nº 80, 103-114.



CEDEX

- Lechuga, Antonio y José María Medina (1991). "Coastal dynamics and beach morphology. The cases of Rompido arrow and Fuente del Gallo beach". COPEDEC.
- Lechuga, Antonio, José María Medina y José M. de la Peña (1994). "Coastal dynamics in Huelva (Spain)". Congreso del PIANC (Section II-4, 119-125).
- Lechuga, Antonio y José María Medina (1992). "The Punta Umbria (Huelva) Spit". ICCE 1992, Venecia (2233-2241).
- Medina, José M. y José M. de la Peña (1992). "Formaciones costeras onubenses". I Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos (207-217).

Entre los trabajos no realizados en el CEDEX que se han usado de esta zona, cabe citar:

Enríquez Fernández, Javier (1997). *Estudio de evolución de las playas de Isla Canela, líneas de actuación*; HIDTMA, S.L.

Enríquez Fernández, Javier (2000). *Estudio integral de la costa de Huelva- Dinámica litoral*; HIDTMA, S.L. (Informe técnico para la Dirección General de Costas).

Morales, J.A., J.G. Pendón y J. Borrego (1994). *Origen y evolución de flechas litorales recientes en la desembocadura del estuario mesomareal del río Guadiana (Huelva, SO de España)*; Revista de la Sociedad Geológica de España (vol. 7 (1-2), págs. 155 a 167).

Morales González, Juan Antonio (1993). *Sedimentología del estuario del río Guadiana (SW España-Portugal)*; Tesis Doctoral – Universidad de Sevilla (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva- 1995)

Morales González, Juan Antonio (1995). *Evolución temporal de la playa de Isla Canela*; Informe Técnico.

Morales, J.A., F. Ruiz e I. Jiménez (1997). *Papel de la sedimentación estuarina en el intercambio sedimentario entre el continente y el litoral: el estuario del río Guadiana (SO de España-Portugal)*; Revista de la Sociedad Geológica de España (vol. 10 (3-4), págs. 309 a 325).

HIDTMA (2011). *Plan Director para la Gestión Sostenible de la Costa. Demarcación Hidrográfica de Guadiana y Guadalquivir*, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (5 tomos).

1.3 BASES, FUENTES Y SOPORTE TÉCNICO DE ESTE INFORME

La realización de este informe técnico se ha efectuado basándose en los datos que se han ido obteniendo a lo largo del tiempo que se han plasmado en los informes técnicos que se recogen el en apartado anterior, sin menoscabo de las actualizaciones que se han considerado imprescindibles para caracterizar adecuadamente todo el frente costero onubense que discurre entre las desembocaduras de los ríos Guadiana, haciendo frontera con Portugal, al oeste y Guadalquivir, que lo separa de la provincia de Cádiz, al este.

Por tanto, en esta primera fase del trabajo se va a ir recogiendo, ordenando y complementando toda la información existente de la costa onubense en lo referente a morfo dinámica, dinámica litoral, evolución y actuaciones realizadas en la zona; ordenándose de oeste a este y centrándose en las formaciones más singulares y los problemas más acuciantes, que por lo general esta costa tan viva y las formaciones generadas por la activa dinámica litoral generan.



1.4 ACTUACIONES EN LA COSTA ONUBENSE

Analizado las actuaciones que se han ido produciendo a lo largo de los años recientes en este tramo de costa, comprendido entre los ríos Guadiana y Guadalquivir, éstas se han centrado, especialmente, en ir adaptando la ordenación del frente costero a la actividad dinámica que iba imponiendo la costa; siendo las dos características más importantes: El alto transporte longitudinal de sedimentos, y las formaciones singulares que se han ido produciendo cuando este río de arena marina se ha cruzado con los entrantes que producían especialmente las desembocaduras de los ríos: Guadiana, Carreas, Piedras, Tinto, Odiel y Guadalquivir. Comenzando por el primero de estos puntos singulares: la desembocadura y estuario del río Guadiana.

La desembocadura del río Guadiana es un estuario que ha ido colmatándose por los aportes sedimentarios del propio Río y los procedentes de las costas aledañas, principalmente las situadas a poniente. Estas circunstancias han hecho que en la desembocadura se haya ido formando bajos arenosos y flechas litorales. Estos bajos arenosos y flechas litorales dificultaban la navegación que a lo largo del último tramo de Río se hacía.

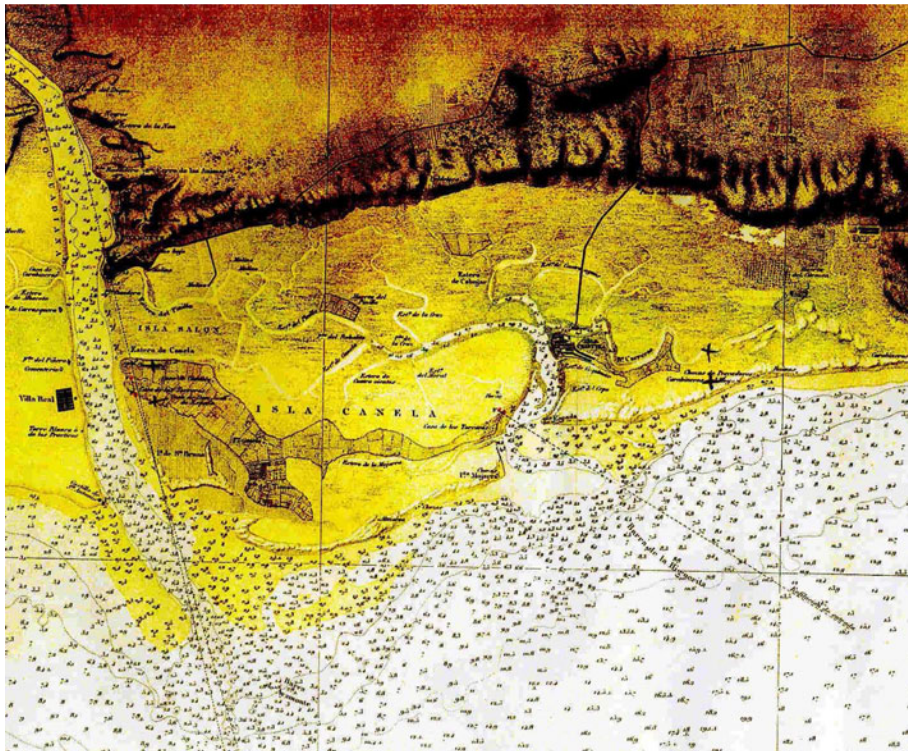


Figura 1.1: Carta náutica de la desembocadura del río Guadiana de 1868 (Dirección general de Hidrografía)

Este problema se intentó mitigar con la construcción entre 1974 y 1976 de un dique de encauzamiento que partiendo de la margen portuguesa del río cortaba la flecha del Guadiana, tomando una dirección SSE.

La construcción de este nuevo encauzamiento provocó el corte de la flecha, que pasaría a llamarse banco do Obril y el desvío de la zona principal de depósitos que antes de la construcción del dique se hacía siguiendo el canal principal frente a las costas de Isla Canela, esto es en dirección ESE, y ahora con la nueva situación se hacía en dirección SSE. Además el dique, al ser barrera total, retenía todo el material procedente de las playas a poniente e hizo que los bajos, flecha y delta sumergido buscasen un nuevo equilibrio.

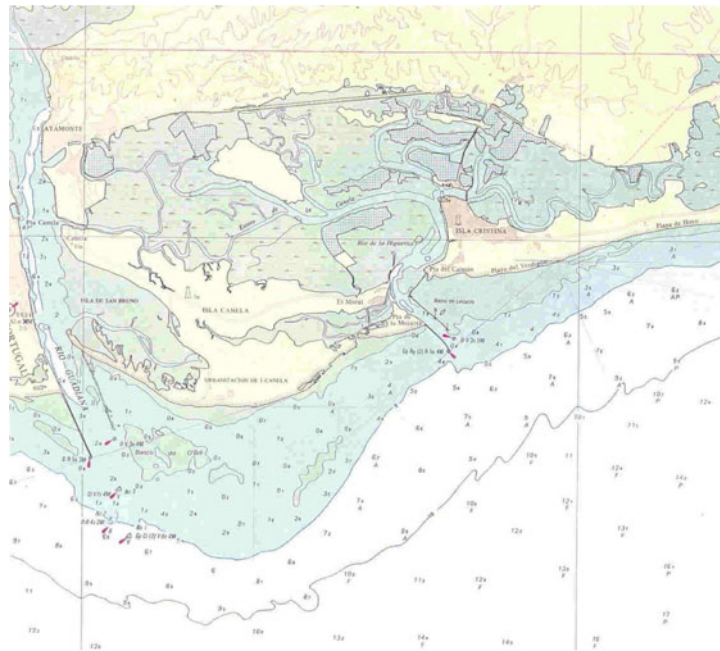


Figura 1.2: Carta náutica de 1982 (Instituto Hidrográfico de la Marina), en la que se aprecia el nuevo dique de encauzamiento de la margen portuguesa de la desembocadura del río Guadiana

A partir de la construcción del dique de poniente de encauzamiento del río Guadiana los bajos asociados a su desembocadura, en su mayoría provenientes de los restos de la flecha del Guadiana, banco do Obril, han ido evolucionando: creciendo y moviéndose hasta alcanzar el estado actual.

La construcción del dique, al provocar el desvío de la zona principal de depósitos, situados frente a Isla Canela, tuvo como consecuencia que se produjesen retrocesos importantes en esta playa desde los años 80, que hasta 1998 acumulaban un valor superior a 100 metros. En junio de 2002, la Dirección General de Costas vertió en esa playa, que en un buen tramo había quedado escollerada, en torno a 400.000 m³ de arena.



Figura 1.3: Escollerado en la playa de Isla Canela (junio de 2002)



Figura 1.4: Regeneración de la playa de Isla Canela con 400.000 m³ (junio de 2002)

La desembocadura del río Carreras, Isla Cristina, fue objeto de actuación: construyéndose un dique de encauzamiento a la entrada de la desembocadura en su margen occidental; apreciándose en las fotografías de 1973, comparadas con 1956, el efecto transformador que produjo; reteniendo una gran cantidad de material apoyada en ese dique, en la playa también conocida como los Haraganes que forma parte del conjunto de playa de Isla Canela.



Figura 1.5: Playa de Isla Canela, apoyada en el dique occidental del puerto de Isla Cristina, conocida también como playa de los Haraganes, en febrero de 2003

El segundo dique de encauzamiento, finalizado a comienzos de este siglo reordenó y fijó yoda la desembocadura del río Carreras; si bien, no parece que el efecto producido en las playas fuese más allá que las playas más inmediatas.

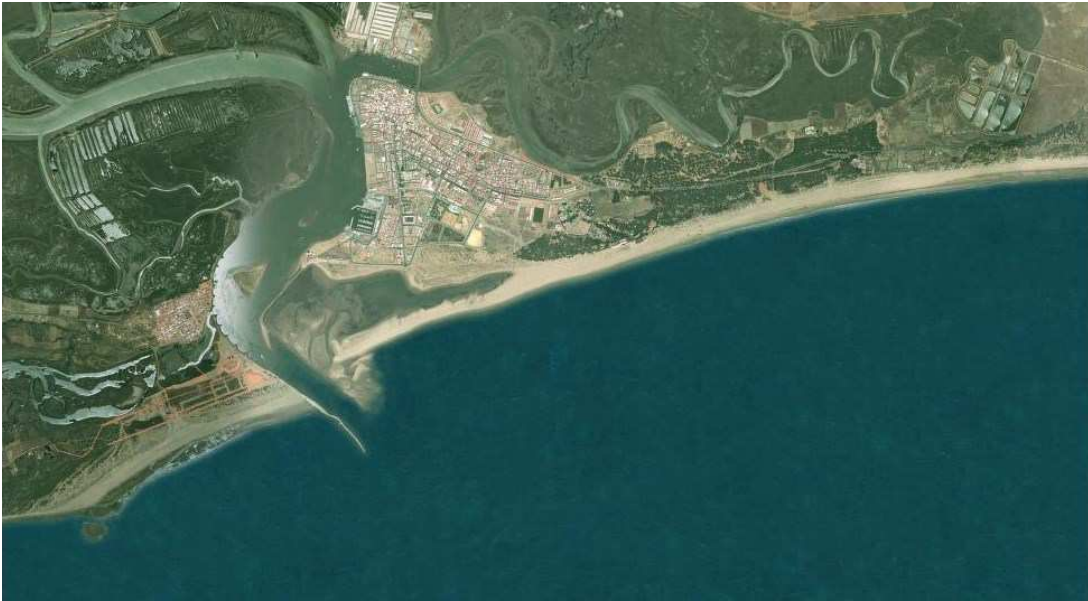


Figura 1.6: Ortoimagen de Isla Cristina del año 2000, a poniente playa de Isla Canela-Los Haraganes y a levante, en plena realización del segundo dique de encauzamiento del puerto, el estado en que se hallaba la playa de Punta del Caimán-Playa de la Antilla (fuente: Instituto de Cartografía de Andalucía)

A continuación, la gran playa de la Antilla, que se conoce en sus diferentes tramos -de oeste a este- por playa de Punta del Caimán, Central, Islantilla, La Antilla y Nueva Umbría, ésta última formando el frente de la Flecha del Rompido y por tanto con unos condicionantes morfo dinámicos diferentes, sufrió el corte de transporte sólido que fueron produciendo las actuaciones anteriores.

Las consecuencias inmediatas fueron que estas playas aguas abajo, con especial virulencia en la playa de la Antilla sufrieron graves erosiones, como el estado en que se encontraba la playa de la Antilla en octubre de 1980, antes de que se produjesen los graves daños erosivos que provocaron actuaciones de urgencia en toda la costa.



Figura 1.7: Playa de la Antilla (28 de octubre de 1980)



Figura 1.8: Playa de la Antilla (28 de octubre de 1980)

A partir de la construcción del dique de poniente de encauzamiento del río Guadiana los bajos asociados a su desembocadura, en su mayoría provenientes de los restos de la flecha del Guadiana, banco do Obril, han ido evolucionando: creciendo y moviéndose hasta alcanzar el estado actual. Esta reordenación afectó no solamente a las playas inmediatas como la indicada de Isla canela; sino, también, aguas abajo en esta playa de la Antilla donde la situación erosiva obligó a las autoridades a intervenir para regenerarla. En 1990, se vertieron 1.300.000 m³ en la playa de La Antilla, en 1994 fueron 330.000 m³ en las playa de Isla Cristina y, con posterioridad, en 1997, 300.000 m³ en la playa de Islantilla (HIDTMA, 2011)

Durante el segundo semestre de 2002 la Dirección General de Costas realizó una nueva realimentación artificial de arena en la playa de la Antilla. La arena usada provenía de los bajos situados frente al Parador Nacional de Mazagón con un tamaño medio en torno a 0,35 mm, y se vertieron 210.000 m³. El aspecto que ofrecía esta playa en febrero de 2003 es el que se puede apreciar en las figuras siguientes, donde se ve todavía los tubos de transporte de la arena. Y en el transcurso de junio-julio de 2003 se realimentó la parte de la playa del Hoyo denominada como Isla Antilla, vertiendo 246.016 m³, con un tamaño medio de la arena de 0,29 mm, valor éste menor que el natural de la mayoría del tramo.

A lo largo de este tiempo, entre la construcción del dique de encauzamiento de poniente de la desembocadura del río Guadiana a la actualidad, se han ido sucediendo estudios para el conocimiento y mitigación del problema presentado en toda la margen oriental costera de la desembocadura. En especial, el CEDEX a través de su Centro de Estudios de Puertos y Costas ha realizado un total de 10 informes técnicos. También es digno de mención el “Estudio Integral de la Costa de Huelva” encargado por la entonces Dirección General de Costas, hoy Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, a la empresa Hidtma. Esta misma empresa, HIDTMA, elaboró el “Plan Director para la Gestión Sostenible de la Costa. Demarcación Hidrográfica de Guadiana y Guadalquivir” para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.



Figura 1.9: Playa de la Antilla después de su recarga, vista a poniente (febrero de 2003)



Figura 1.10: Playa de la Antilla después de su recarga, vista a levante (febrero de 2003)

La siguiente playa, de Nueva Umbría forma todo el frente de la Flecha del Rompido, formada en la desembocadura del río Piedras y con una longitud entre 11,5 y 12 km, discurre paralela a la costa. Durante el periodo finales de los años 80 y comienzo de los 90 del pasado siglo, como consecuencia de las obras aguas arriba, se temió por su rotura, además de existir propuestas para realizar un canal que lo cortase para facilitar el tránsito de los barcos de pesca al puerto de Cartaya, lo que motivó estudios sobre ella como el realizado por el CEDEX en 1991, referenciado en el apartado anterior.

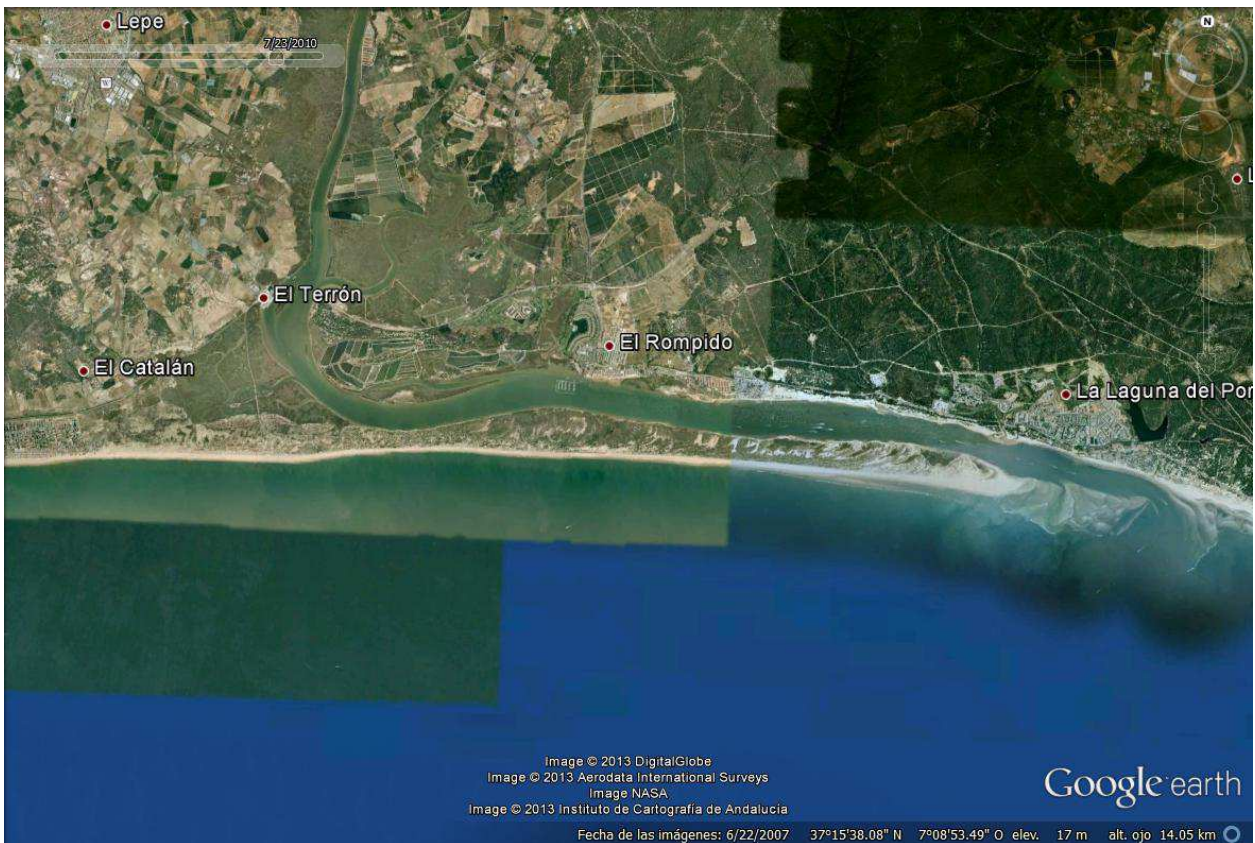


Figura 1.11: Flecha del Rompido en 2010 (fuente: Google Earth, Instituto de Cartografía de Andalucía)

Los informes del CEDEX posteriores (CEDEX, 2003) constataron que el estado de esta playa era estable sin una erosión significativa.



Figura 1.12: Playa de nueva Umbría en febrero de 2003

El efecto de las actuaciones, especialmente en el dique de encauzamiento del río Guadiana siguieron alcanzando las playas al oriente. Así la playa de La Bota tuvo que ser protegida por un peine de espigones, visibles en 1991, que posteriormente desaparecieron.



Figura 1.13: Campo de espigones en la playa de La Bota (1991)

Las primeras actuaciones se realizaron en Punta Umbría, donde los edificios más próximos a la punta estuvieron prácticamente en contacto con el agua, con el peligro consiguiente. Aquí, el Ministerio, entonces de Obras Públicas y Urbanismo, a través de su Dirección General de Puertos y Costas decidió la construcción de un dique curvo, que comenzó a construirse en el año 1984 y finalizó en 1986.



Figura 1.14: Flecha y playa de Punta Umbría antes (izquierda) y después (derecha) de la actuación costera para frenar las erosiones tras la construcción del dique de encauzamiento en la margen de poniente de la desembocadura del río Guadiana (fuente: Dirección General de Costas)

La construcción de este dique curvo produjo una reordenación de la antigua flecha, lo que retardó el aporte sedimentario a la antigua flecha de Huelva que se rigidizó mediante un dique, de Juan Carlos I, estudiado su efecto por el CEDEX en 1991.



Figura 1.15: Dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva en 1991, que reorganizó toda la flecha de Huelva

El efecto que produjo la construcción de este dique fue el aumento de sombra del dique en las playas a levante y el efecto absolvedor de sedimento que se hizo patente tras la construcción de puerto de Mazagón en 1993, formando una amplia playa apoyada. De esta zona provino la arena que se utilizó para las regeneraciones de Isla Canela y la playa de la Antilla.



Figura 1.16: Puerto de Mazagón, en la entrada de la ría o puerto de Huelva, construido en 1993 que ha formado una gran playa apoyada (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

La falta de aportes tras estas construcciones junto con el efecto del dique del puerto de Huelva provocó la erosión de la playa de Matalascañas, donde el CEDEX realizó un seguimiento de la playa entre los años 1981 y 1983 por encargo de la Dirección General de Puertos y Costas.



Figura 1.17: Playa de La Higuerita en Matalascañas en 1982, donde, como se aprecia en la foto, se tuvo que construir espigones de protección, ya entonces casi enterrados

Lo estricto de los aportes, unido a un urbanismo excesivamente metido en la orilla ha hecho que en temporales el oleaje incida directamente en el paseo marítimo de Matalascañas.



Figura 1.18: Matalascañas, donde la anchura de playa es reducida para los oleajes que inciden en ella; habiéndose producido problemas por esa causa (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Esta zona ha tenido dos grandes actuaciones: En 1989 se regeneró toda la playa del Parador hacia Matalascañas, aportando 1.690.000 m³; y en 1996 se regeneró la playa de Mazagón, aportando 450.000 m³ (HIDTMA 2000)

A modo de resumen, en la siguiente figura se muestran las actuaciones y obras más importantes realizadas en la costa onubense.

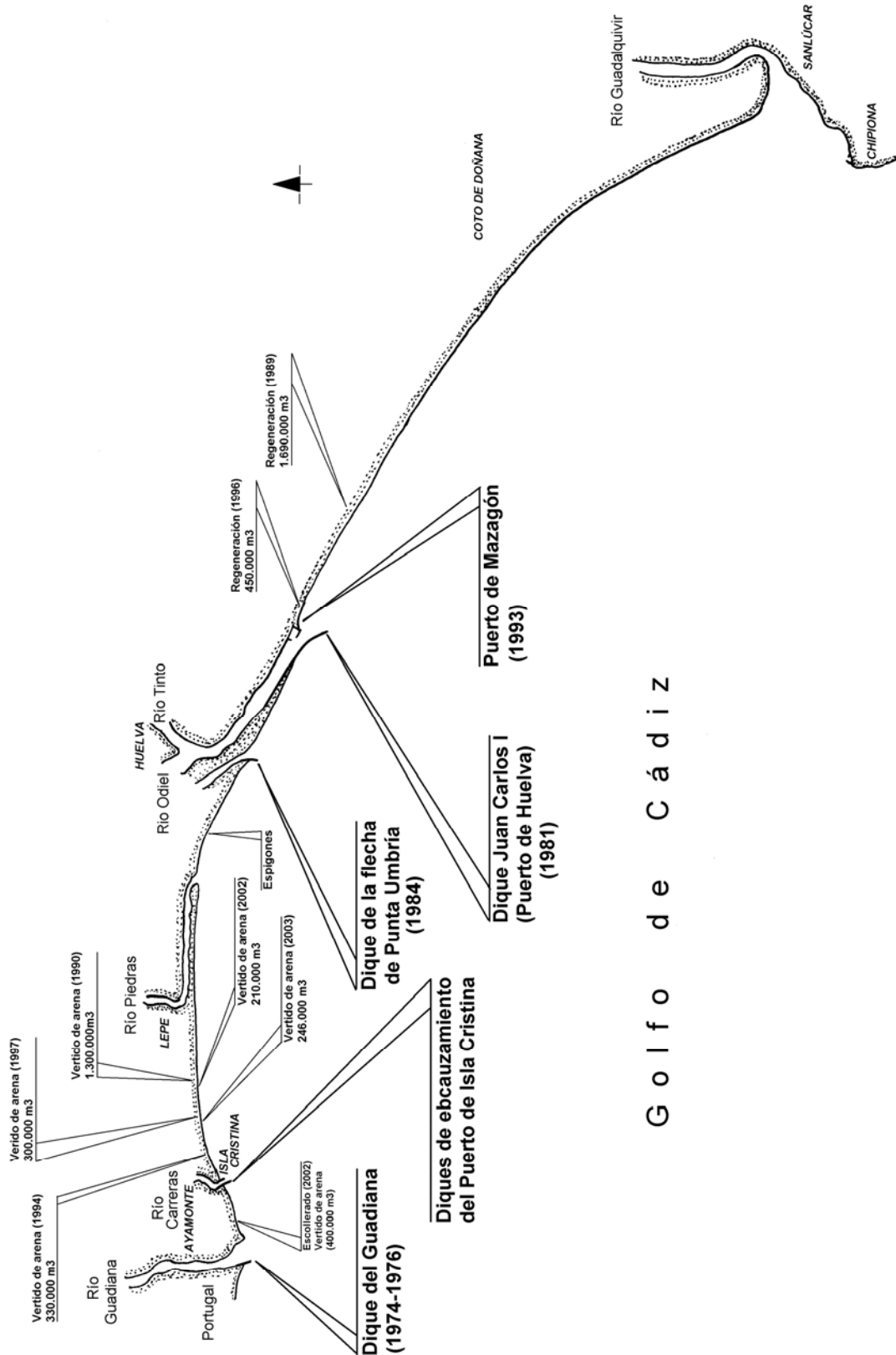


Figura 1.19; Obras y actuaciones principales en la costa onubense



1.5 ESTRUCTURA DEL INFORME TÉCNICO

Como se ha indicado en el primer apartado del capítulo, este trabajo se ha dividido en dos fases:

Fase I: Definición y recopilación de la información existente con el análisis de las actuaciones que se han realizado, caracterizando morfológicamente la costa, analizando su dinámica litoral y evolución, y detectando las zonas con problemas y las variables que los definen.

Fase II: Se proponen las actuaciones, se priorizarían estas y se marcarían los ritmos de ejecución.

Para una mayor comprensión del problema abordado en este informe técnico correspondiente a la primera fase, se ha dividido en los siguientes capítulos, junto al presente capítulo introductor:

Capítulo 1: Es el de introducción; en el que se indican los objetivos que se han marcado, los antecedentes y actuaciones llevadas a cabo en la costa onubense.

Capítulo 2: Dedicado a la descripción física de la zona de estudio; unidades fisiográficas, formaciones costeras singulares, playas, y red fluvial.

Capítulo 3: Clima marítimo.

Capítulo 4: Dedicado a la dinámica litoral a lo largo de la costa onubense.

Capítulo 5: Se estudia la evolución de la costa

Capítulo 6: Se indican las zonas con problemas, la evolución que se espera de ellos y las variables que los definen.

2. ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA COSTA ONUBENSE

Este capítulo está dedicado a estudiar o describir todo el frente de costa onubense, con el fin de determinar los condicionantes del medio, las formas costeras que la dinámica litoral ha ido formando a lo largo del tiempo y las fuentes que han ido alimentándolo. Además se caracteriza la plataforma costera.

2.1 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL ENTORNO LITORAL

La costa onubense discurre desde la desembocadura del río Guadiana hasta la desembocadura del río Guadalquivir. Esta costa se caracteriza por su gran actividad sedimentaria cuaternaria: Sobre los terrenos cenozoicos se superponen a lo largo de todo el litoral aluviones provenientes de erosión de material paleozoico y mesozoico. En pleno cuaternario se suceden fracturas que provocan el hundimiento del frente costero, en general con dirección este-oeste, entonces existían grandes estuarios en los principales ríos – Guadiana, Piedras, Tinto, Odiel y Guadalquivir- como lo atestiguan geógrafos de la antigüedad como Estrabón, Plinio o Mela y se documentan en trabajos como Peña (2011).

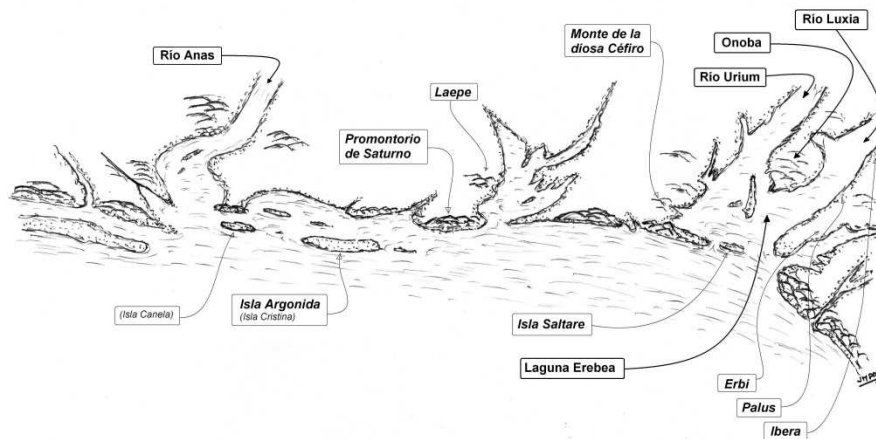


Figura 2.1: Estado en que se encontraba la costa onubense desde la desembocadura del río Guadiana – Anas- hasta las desembocaduras de los ríos Odiel y Tinto -Urium y Luxia- (Peña 2011)

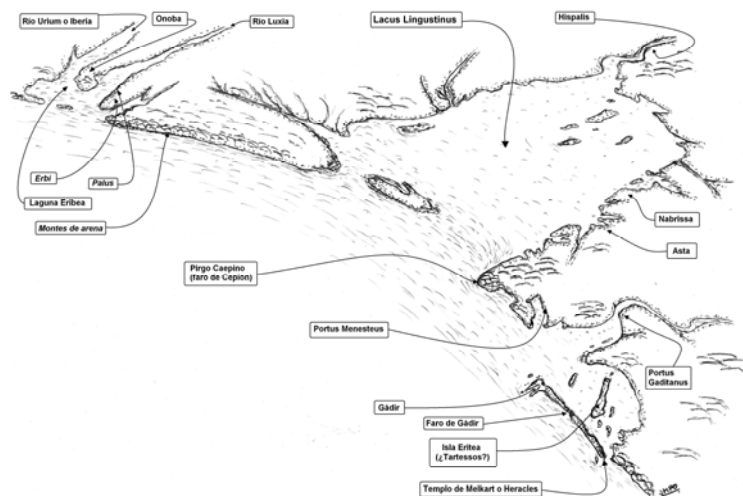


Figura 2.2: Estado en que se encontraba la costa onubense las desembocaduras de los ríos Odiel y Tinto -Urium y Luxia- hasta Cádiz –Gádir- (Peña 2011)

Los estuarios se fueron colmatando a lo largo del tiempo; así la flecha de Doñana ya se había formado a comienzos del siglo XVI; debiendo esperar algún siglo para colmatar los estuarios y formar las incipientes flechas de Huelva, Punta Umbría y del Rompido. Pero no fue hasta bien entrado el siglo XX cuando las obras, especialmente portuarias, comenzaron a transformar la actividad continuada de la costa.

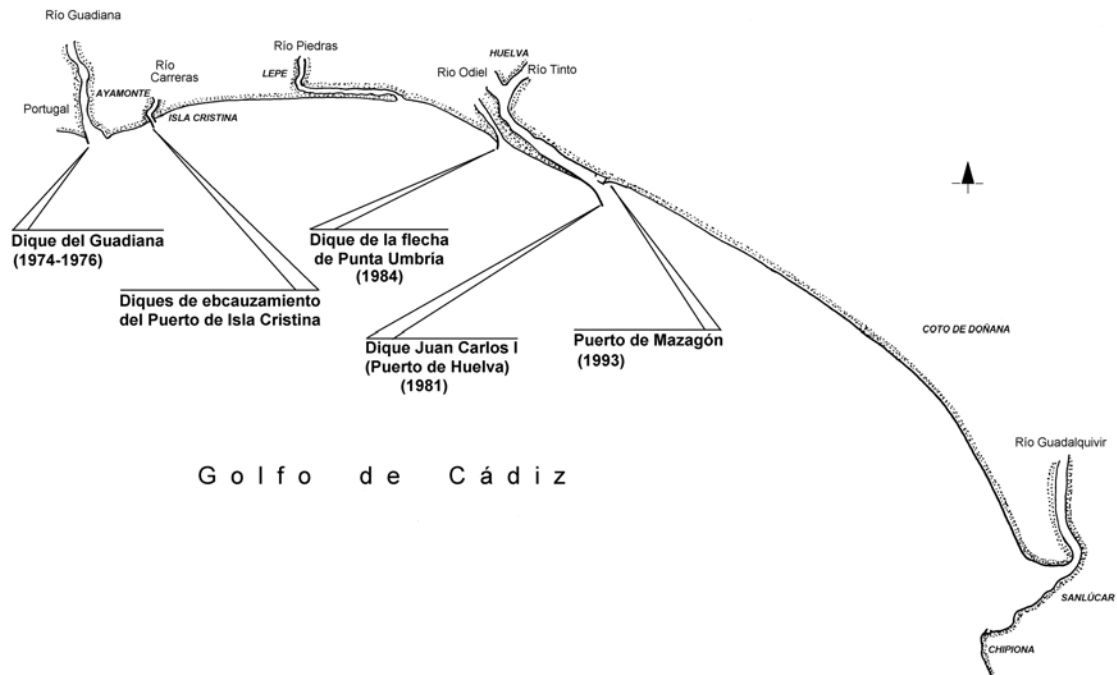


Figura 2.3: Obras más importantes a lo largo del frente costero onubense

La ensenada de Huelva, se encuentra inmersa en el Golfo de Cádiz, tiene forma de arco abierto hacia el suroeste. Se encuentra básicamente formado por una costa baja arenosa; lo que hace que sea una larga playa arenosa en la cual se van sucediendo sucesivas formas sedimentarias arenosas, coincidiendo con las desembocaduras de los ríos, de poniente a levante: Guadiana, Carreras o Cabrerías, Piedras, Odiel y Tinto, y Guadalquivir.



Figura 2.4: Dique o espigón de escollera en la margen portuguesa de la boca del río Guadiana



A comienzo del tramo, en la desembocadura del río Guadiana existe, del lado portugués, un espigón o dique de escollera de contención de arenas que ha retenido gran cantidad de arena y desestabilizó el delta sumergido del río Guadiana que produjo importantes problemas costeros que se han descrito en el capítulo anterior.

Tras la desembocadura del río Guadiana, existe un conjunto de cordones litorales convexos, muchos de ellos todavía en formación interrumpidos únicamente por los diques de encauzamiento del puerto de Isla Cristina. Tras ello se abre la playa de la Antilla, con orientación prácticamente este-oeste, dando paso al frente de la Flecha del Rompido manteniendo la orientación de la costa.



Figura 2.5: Playa de la Antilla

Tras la Flecha del Rompido, la costa gira, lo que ha dificultado el crecimiento reciente de esta formación, para ponerse en dirección noroeste-sureste, produciéndose una nueva flecha en Punta Umbría, donde ésta se encuentra cortada por un dique curvo y un canal abierto tras él, si bien los calados que alcanza el morro del dique no impiden totalmente el movimiento de sedimentos tras él. En la actualidad, los depósitos de su canal indican que una nueva flecha incipiente se está formando en la misma dirección que la antigua.



Figura 2.6: Dique curvo de Punta Umbría (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Junto a la flecha de Punta Umbría, a sotamar, se encuentra la flecha de Huelva; formando las dos un conjunto creado en la inferencia de la desembocadura de los ríos Odiel y Tinto con el transporte sólido litoral. Ambas flechas se encuentran altamente antropizadas; la flecha de Huelva se halla rigidizada por el dique Juan Carlos I de encauzamiento del Puerto de Huelva; habiéndose transformado esta forma costera en una playa apoyada.



Figura 2.7: Aspecto del dique de Juan Carlos I del Puerto de Huelva (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)



Figura 2.8: Playa de la flecha de Huelva apoyada en el dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

En la propia boca de la ría de Huelva se encuentra el Puerto de Mazagón que ha acumulado el material proveniente de sotamar, como se ha indicado en el capítulo anterior. A sotamar del dique Juan Carlos I se abre la playa de Castilla, que sigue llevando dirección SE-NE, bordeada toda ella por cantiles arenosos fácilmente erosionables que hoy en día siguen aportando material a la playa. Tras ella se abren las dunas del Coto de Doñana, girando la costa para ponerse en dirección NNO-SSE, que alcanzan la desembocadura del río Guadalquivir.

2.2 UNIDADES FISIGRÁFICAS-TRAMOS COSTEROS

En pura esencia, la costa de Huelva no puede considerarse independiente ni cerrada, y por tanto no sería una unidad fisiográfica como tal; pero, en la actualidad los límites que se le han impuesto a lo largo del tiempo hace que a modo de distribución sí se la pueda considerar un tramo independiente; con la salvedad que provocan los movimientos de materia que el subdelta del río Guadiana provoca desde el dique de la margen portuguesa hasta la playa de Isla Canela.

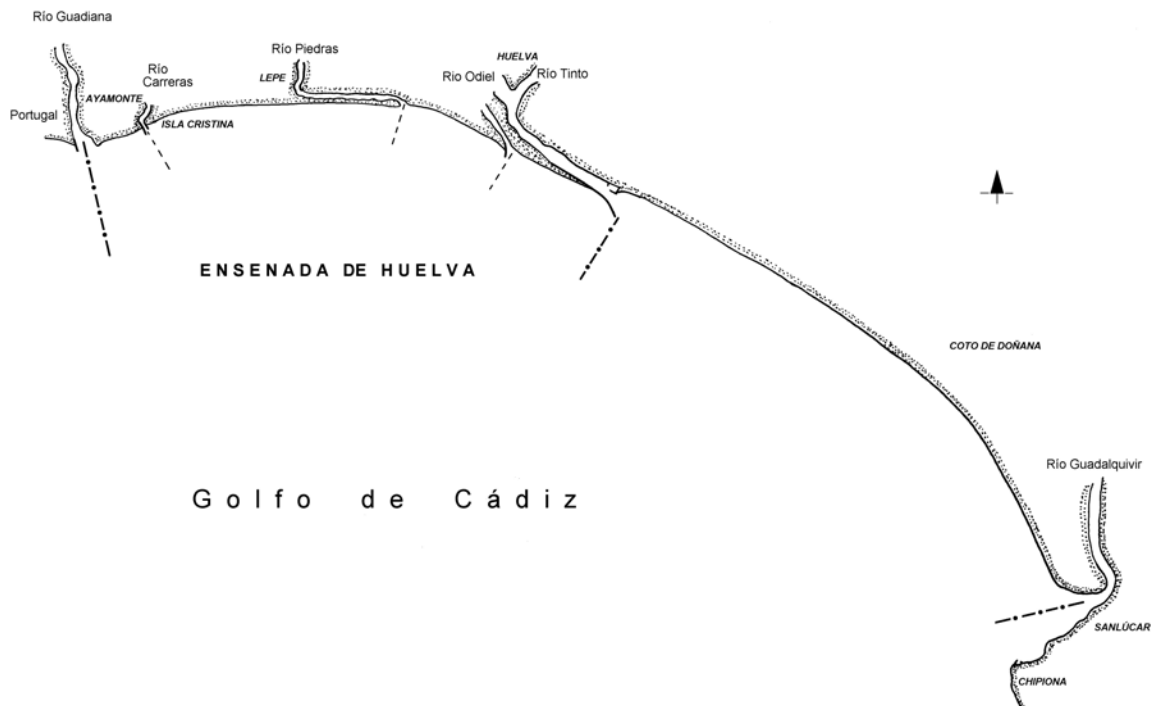


Figura 2.9: Tramos y sub-tramos de división de la costa de Huelva

El siguiente límite costero casi barrera total lo forma el actual dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva que, si bien, no es barrera total (CEDEX, 1991) ya que es atravesado por sedimentos en suspensión, sí es prácticamente un freno al transporte de sedimentos a lo largo de la costa.



Figura 2.10: Paso de sedimentos frente al morro del dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva

El último de los límites al paso de sedimentos lo forma la desembocadura del río Guadiana y la costa de Chipiona.

El primero de los tramos costeros, del río Guadiana a Huelva, a su vez, puede subdividirse en cuatro tramos; delimitados por las obras y desembocaduras de los ríos, siendo éstos:

- Río Guadiana – Isla Cristina
- Isla Cristina – Río Piedras
- Río Piedras – Punta Umbría
- Punta Umbría – Puerto de Huelva

2.3 OBRAS MÁS IMPORTANTES

Las obras más importantes que se encuentran en el frente costero de la costa onubense son:

- Dique de encauzamiento del río Guadiana
- Diques de encauzamiento del puerto de Isla Cristina
- Dique de Punta Umbría
- Dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva
- Puerto de Mazagón

2.3.1 Dique-espiigón portugués

Construido entre 1974 y 1976. Es un dique de encauzamiento de escollera concertada de 2 km de longitud, una anchura total de 24 m y 6 metros en la plataforma superior horizontal; alcanzando el morro 5 m de calado. En el lado Español se construyó con posterioridad un dique de encauzamiento semi-sumergido que alcanza menores profundidades y totalmente rebasable. Estando hoy en día en muchos puntos anegado por la arena.

2.3.2 Diques de encauzamiento del puerto de Isla Cristina

El conjunto se encuentra formado por dos diques de encauzamiento ligeramente curvos hacia poniente del puerto de Isla Cristina y el río Carreras –o Cabrerías- siendo el occidental el más antiguo y separados ambos una distancia de 180 m, con las siguientes características generales:

Dique de Poniente: Dique en talud de escollera de 1330 m, visitable con plataforma superior. Tiene un pequeño espolón a 280 m del morro. La profundidad en el morro está en torno a 3,5 m.

Dique de Levante: Es un dique en talud de escollera no visitable, está formado por dos alineaciones; la más externa tiene una longitud de 1000 m y es casi paralelo al dique de poniente; la más interna se encuentra dentro de la ría o puerto, es perpendicular a la alineación anterior, con una transición curva, dirigiéndose hacia poniente y tiene una longitud aproximada de 480 m. Su calado en el morro no alcanza más de 1 m.

2.3.3 Dique de Punta Umbría

Su construcción data de 1984. Se proyectó como un dique curvo que, partiendo con dirección SE, dentro de la ría, acababa con dirección SSW en el exterior. El dique es de escollera en



talud visitable; finalizando en un morro en cruz. Tiene una longitud total de 940 m y una anchura media de entre 25 y 30 m, con un tramo primero interior y un segundo tramo más exterior; con una plataforma visitable de 6 m. El calado inicial del morro estaba a unos 1,5 m.

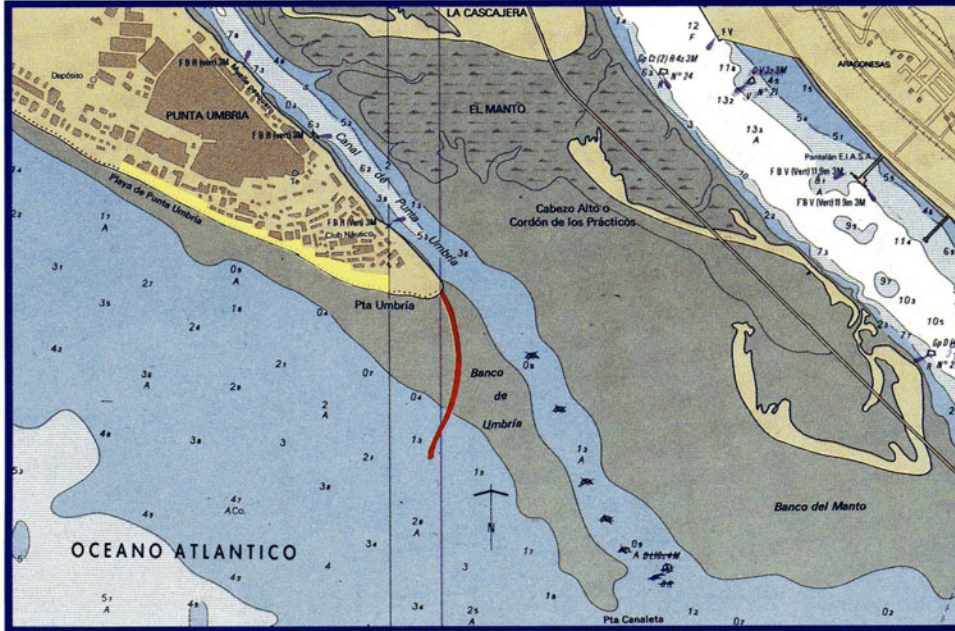


Figura 2.11: Proyecto del dique de Punta Umbría (fuente: Actuaciones en la Costa, Dirección General de Puertos y Costas 1988)



Figura 2.12: Dique de Punta Umbría (fuente: Actuaciones en la Costa, Dirección General de Puertos y Costas 1988)

2.3.4 Dique Juan Carlos I del Puerto de Huelva

Es el dique de encauzamiento del canal de Huelva que da acceso al Puerto de Huelva. Se encuentra construido sobre la antigua flecha de Huelva. Está compuesto por: Una alineación ligeramente curvada hacia levante; siguiendo paralelo a la margen este del canal. Para, finalmente, curvarse hacia el sur, pasando de una alineación sureste a otra sursureste. Su morro alcanza profundidades próximas a los 10 m. Es un dique en talud de bloques visitable; La longitud total del dique es de algo más de 9,5 km, y de una anchura de unos 30 m con una plataforma visitable de 10 m de anchura.

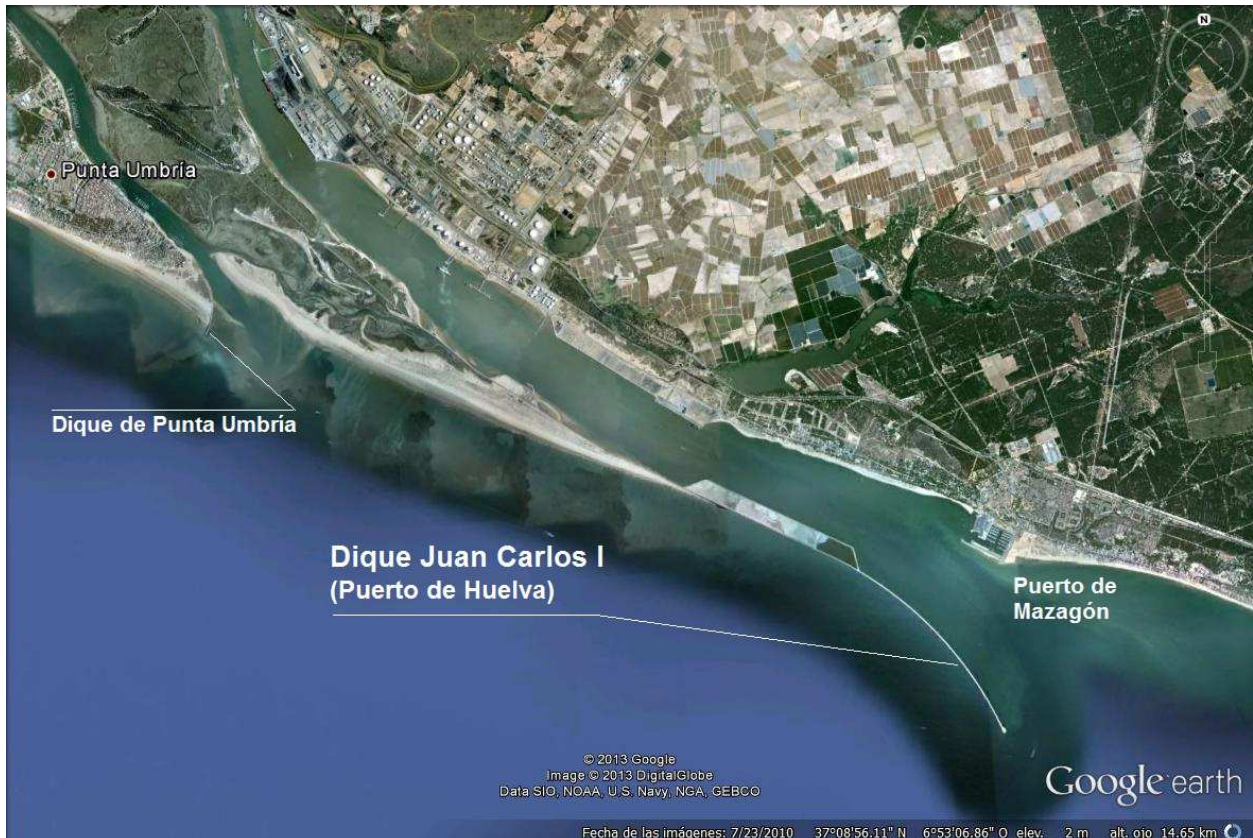


Figura 2.13: Situación de los diques de Punta Umbría y Juan Carlos I y del Puerto de Mazagón (fuente: Google Earth-Digital Globe)

2.3.5 Puerto de Mazagón

Es la última de las obras portuarias en el frente costero de Huelva. Está formado por: Un dique-muelle de dos alineaciones; la primera arranca perpendicularmente a la costa de tierra y tiene una longitud de 400 m; la segunda parte de la anterior, discurre paralelo a la costa en dirección interior a la ría y tiene una longitud aproximada de 640 m, ambos tramos son en talud con manto de acropodos. Y un contradique que tiene en su trasdós una gran plataforma, su longitud en proyección es de unos 200 m y parte de tierra con una alineación media perpendicular a ella. Tras el puerto, hacia el interior de la ría de Huelva, se ha construido un espigón en talud de retención de arenas que tiene una longitud de 100 m. En la actualidad, las arenas provenientes del exterior han rebasado el dique.



Figura 2.14: Situación del Puerto de Mazagón (fuente: Google Earth-Digital Globe)

2.4 FORMACIONES COSTERAS SINGULARES

La costa onubense, como se ha indicado en el capítulo anterior, se caracteriza por la existencia de una serie de formaciones arenosas sedimentarias que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo gracias a los grandes aportes de sedimentos y el elevado transporte sólido litoral que el oleaje provoca en dirección hacia levante. Estas formaciones se hacen singulares cuando este río costero de sedimentos se ve interceptado por la desembocadura de los ríos que vierten sus aguas en estas costas; así las formaciones sedimentarias más singulares en la costa onubense son, de poniente a levante:

- Desembocadura del río Guadiana
- Flecha del Rompido
- Flecha de Punta Umbría
- Flecha de Huelva
- Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir

A continuación se describirá brevemente cada una de estas formaciones; dejando para cada uno de los capítulos siguientes las características más singulares que lo afectan, como puede ser su dinámica litoral, su evolución o su tendencia evolutiva.

De estas formaciones singulares sedimentarias, se ha excluido la desembocadura del río Carreras, Isla Cristina, dado que se encuentra en la actualidad totalmente transformada debido a la actividad humana; comportándose en la actualidad como una salida de un puerto y una desembocadura sin formación sedimentaria singular.

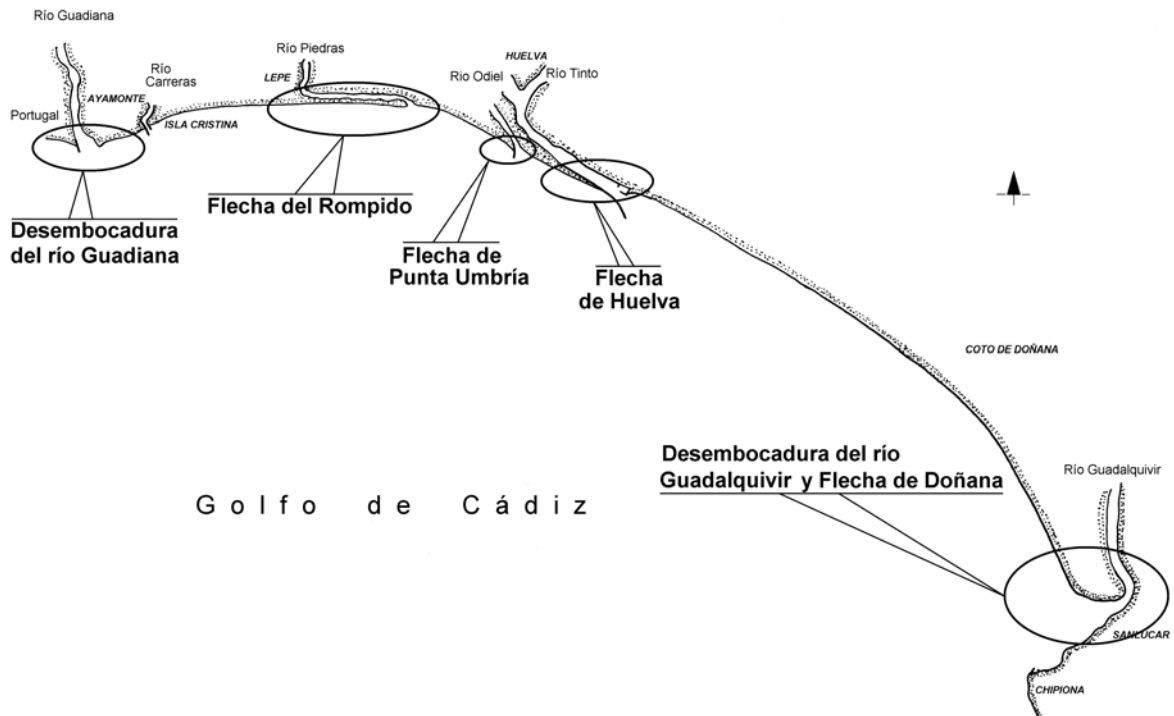


Figura 2.15: Formaciones sedimentarias singulares en la costa de Huelva

2.4.1 Desembocadura del río Guadiana

El estuario que forma la desembocadura del río Guadiana se encuentra situado en el centro-oeste del Golfo de Cádiz. Los sedimentos que ha ido aportando el río Guadiana han ido conformando una serie de bajos, ayudados por los bajos iniciales que eran los restos de la antigua flecha del Guadiana. Esta alimentación continua de sedimentos va provocando el aumento continuo de los bajos, de tal forma que hoy en día son visibles a media marea.



Figuras 2.16: Ortoimagen de la desembocadura del río Guadiana, año 2000 (fuente: Instituto de Cartografía de Andalucía)

Los Bajos se van configurando en planta como medias lunas que parten del extremo de poniente de la flecha de Isla Canela y se desarrollan paralelos a la costa, alcanzando la mitad de la playa de Canela, donde en bajamar se unen a la playa. Mientras que del extremo de levante del bajo, sale un nuevo bajo, que desarrollándose en forma de media luna, igualmente, alcanza las proximidades de la desembocadura del río Carrera, Isla Cristina

Esta estructura de bajos provoca la creación de dos canales mareales, que en la terminología de Morales et al. (1994) ha dado en llamarse canal principal de reflujo y canal secundario de flujo.

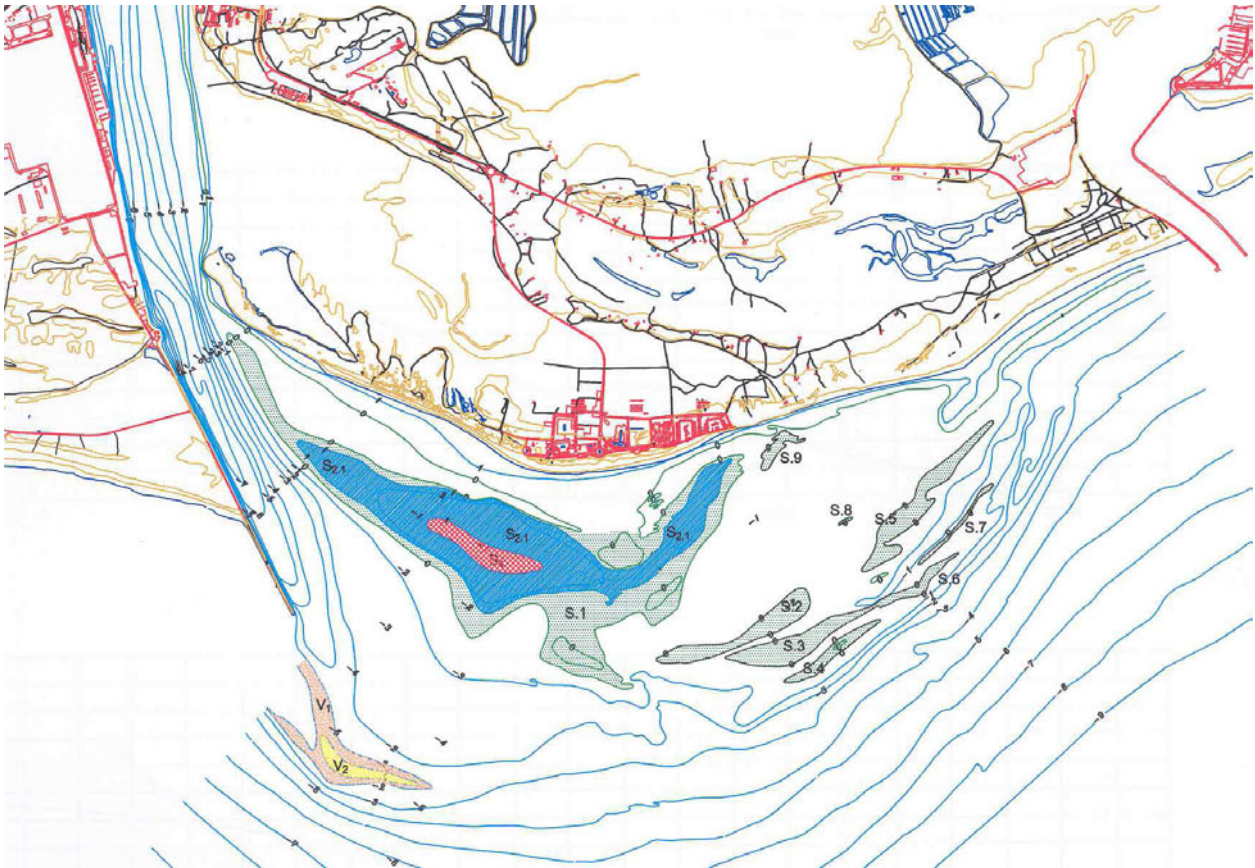


Figura 2.17: Batimetría de 1998 donde se señalan las áreas de bajos

El estuario se encuentra en fase clara de colmatación, con tendencias a desarrollos de formaciones morfo dinámicas litorales abiertas. En realidad la fase en que se encuentra la desembocadura del río no podría llamarse en estrictos términos como estuario; ya que la fase de estuario, como “...entrantes con grandes profundidades...” (Puig 1921), ha pasado, transformándose en ría, y en la mayor parte de su extensión en marismas en fase de colmatación avanzada.

La desembocadura propiamente exterior ha sufrido grandes transformaciones debido a la construcción del dique de encauzamiento portugués, como en el capítulo anterior se ha indicado. Una vez superadas estas transformaciones en el delta sumergido que formaba, en la actualidad, la nueva estructura del delta sumergido hace que sus bajos tiendan a emerger, como indicaba el informe del CEDEX de 2003 y que se analiza en el capítulo dedicado a la evolución.

2.4.2 Flecha del Rompido

La flecha del rompido es una larga lengua de arena que se ha ido formando por la interferencia que el transporte sólido litoral a lo largo de la costa hace con la corriente de salida y de flujo mareal de la desembocadura del río Piedras. Las dimensiones y características de esta forma costera singular se han indicado en el capítulo anterior; por lo que es preferible centrarse en las características más acusadas que esta formación tiene.



Figura 2.18: Batimetría de la Flecha del rompido, según el informe del CEDEX de 1991

La primera de las características es el poder que el canal del río Piedras –entre la Flecha y tierra firme- tiene para desaguar, esto hace que con baja actividad de flujo de agua tienda a sedimentarse material disminuyendo los calados; lo que originó en el pasado la inaudita propuesta de romper la flecha para crear un acceso directo del puerto pesquero al mar. La segunda de las características es el poder de crecimiento que esta flecha tiene.

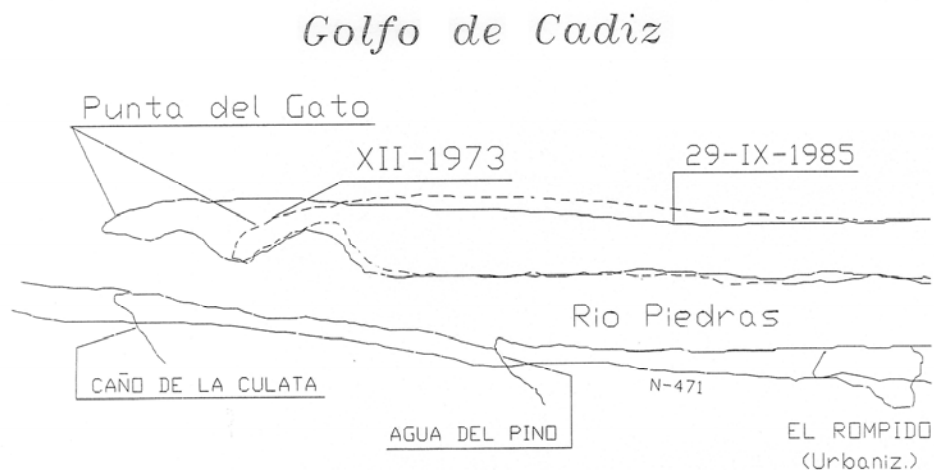


Figura 2.19: Avance de la Flecha del rompido, según el informe del CEDEX de 1991

Este avance se ha visto frenado al alcanzar el estado actual, donde la costa comienza a girar, desde una dirección casi este oeste a rolar hacia el sur unos cuantos grados. El análisis de los bajos de la punta, que se estudian separadamente en el capítulo dedicado a la evolución, indica que este crecimiento prosigue una vez que se conformen los bajos para ello.

2.4.3 Flecha de Punta Umbría

La flecha de Punta Umbría a comienzos del siglo XX tenía una evolución libre de una flecha o lengua de arena asociada a la desembocadura del río Odiel, especialmente. El crecimiento urbanístico a partir de la segunda mitad del siglo XX y, especialmente, la construcción del dique en su punta para frenar la erosión que se produjo en la punta tras la construcción del dique de encauzamiento del río Guadiana de la margen portuguesa, hicieron que esta antigua flecha se encuentre en la actualidad casi totalmente antofizada; si bien, los bajos que se han ido formando, tras la regularización de transporte sólido hacen pensar que los antiguos canales de la punta se van abriendo camino, apareciendo una punta sumergida continuación de lo que fue la antigua.



Figura 2.20: Batimetría de las Flechas de Punta Umbría y Huelva, según el informe del CEDEX de 1991

2.4.4 Flecha de Huelva

La flecha de Huelva se puede considerar, en cierto modo, que se encuentra rigidizada tras la construcción sobre ella del dique Juan Carlos I. El Puerto de Huelva es un puerto natural desarrollado a resguardo de la flecha de Huelva; pero las mayores exigencias de calado y las obligaciones de mantener éstos gracias a los continuos dragados que debían realizarse para poder dejar expedito el canal de acceso llevaron a las autoridades a la construcción del indicado dique, que ha reducido la interferencia de la actividad portuaria con el transporte sólido litoral. De cualquiera de las formas, la antigua flecha en su lado exterior al dique prosigue su avance como los proyectos tenían previsto, si bien ese avance se puede considerar más de una playa apoyada que de punta flecha.

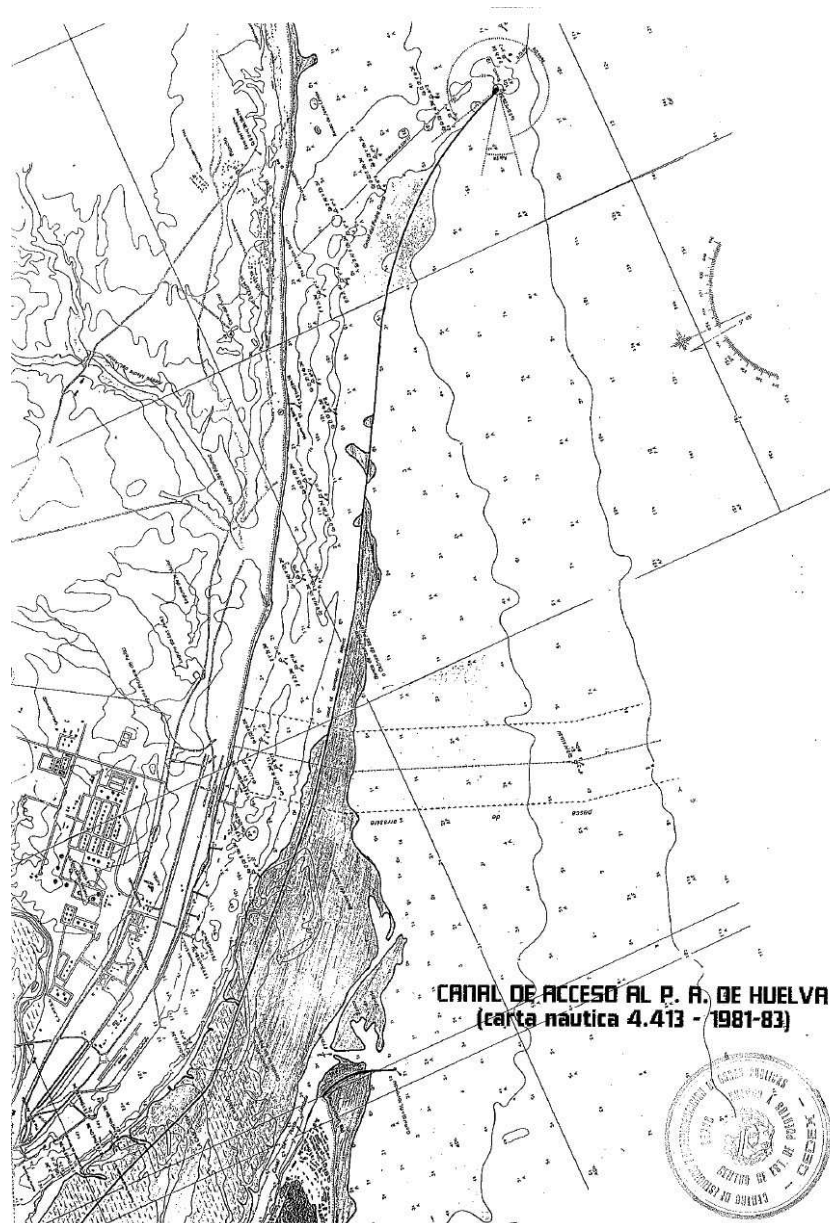


Figura 2.21: Flecha de Huelva, resaltada sobre la carta náutica, y dique Juan Carlos I, según el informe del CEDEX de 1991 (fuente: Instituto Hidrográfico de la Marina y CEDEX)

2.4.5 Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir

A continuación de la Flecha de Huelva se extiende una larga playa que, junto a las de Castilla y Matalascañas, alcanzan lo que se ha dado en llamar la flecha de Doñana; si bien ésta no es formalmente una flecha. En el pasado, la desembocadura de río Guadalquivir era un gran estuario que se cerraba en su frente costero con una isla arenal que dejaba dos bocas de salida al río —es así como la describen los antiguos geógrafos— y permaneció así hasta que a finales del siglo XV todo el estuario se fue colmatando hasta cegar la salida más a poniente del río, dejando únicamente la salida más abrigada a levante.

Solamente, el último tramo de la actual desembocadura se puede considerar una flecha que tiene una longitud aproximada de 24 km y una anchura media de 4 km, dominada por la actividad eólica que se aprecia en todo su frente.

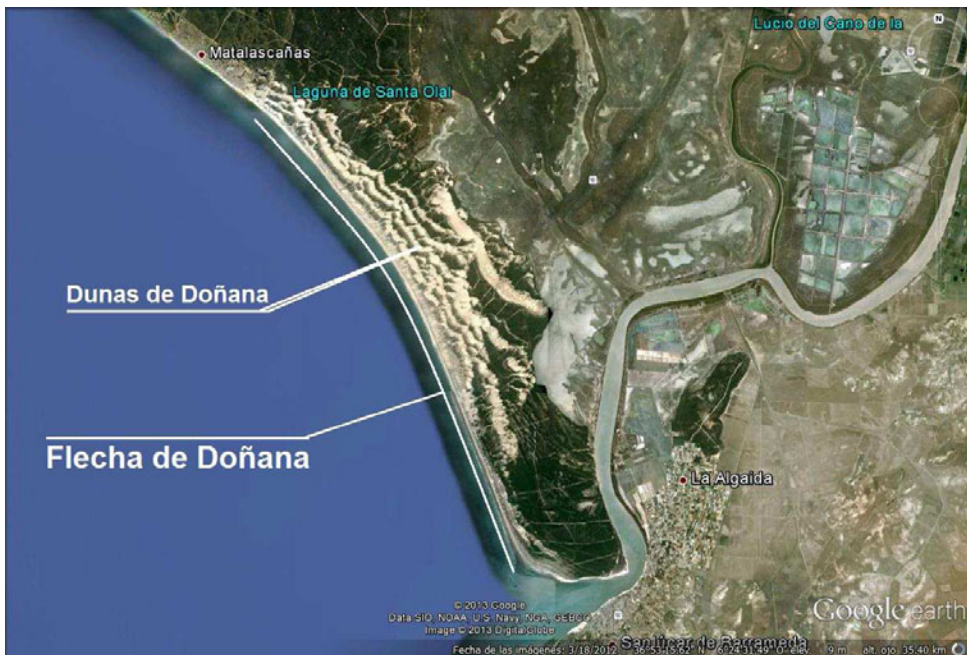


Figura 2.22: Flecha de Doñana y boca del río Guadalquivir (fuente: Google Earth-Digital Globe)

2.5 DESCRIPCIÓN DE LAS PLAYAS

Para hacer una descripción general de las playas que forman el frente costero onubense se ha seguido la división que de éste hace la Guía de Playas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; pero se ha intentado casar esta clasificación con las unidades y sub unidades fisiográficas de estas costas; así, en todo el frente pueden considerarse cinco grandes playas, separadas todas ellas por las desembocaduras de los ríos, y uniendo ambas clasificaciones hallamos:

- Playa de Isla Canela
 - Playa de Isla Canela
 - Playa Punta del Moral
- Playa de la Antilla
 - Playa de Punta del Caimán
 - Playa Central
 - Playa del Hoyo
 - Playa de Redondela
 - Playa de Islantilla
 - Playa de la Antilla
 - Playa de Nueva Umbría
- Playa de Punta Umbría
 - Playa del Portil
 - Playa de la Bota
 - Playa de Mata Negra
 - Playa de Punta Umbría
- Playa de la Flecha de Huelva
- Playa de Castilla
 - Playa de Mazagón
 - Playa del Parador
 - Playa de Castilla
 - Playa de Matalascañas

2.5.1 Playa de Isla Canela

Se extiende desde la desembocadura del río Guadiana hasta la desembocadura del río Carreras –o Cabrerías-. Formalmente está dividida en dos playas: La más al oeste, la de Isla Canela; y la de más al este, la de Punta del Moral o Haraganes.

Playa de Isla Canela: Situada en el término municipal de Ayamonte. Se extiende desde la desembocadura del Río hasta finalizar la flecha de La Espada donde se sitúa la aldea de la Punta del Moral. En grandes zonas de su trasplaya existen cadenas dunares. El material que forma la playa es similar al encontrado en el litoral portugués, esto es; arena fina de color dorado. Tiene una longitud de unos 5,5 km.



Figura 2.4: Dunas erosionadas en la playa de Isla Canela



Figura 2.25: Playa de Isla Canela. Fin de paseo marítimo y zona escollera

Playa Punta del Moral o de los Haraganes: Se extiende desde la Punta del Moral hasta el dique de encauzamiento de poniente del río Carreras, en el término municipal del Ayamonte. Su longitud es de 1000 m aproximadamente. El material sedimentario que forma la playa es el mismo que el de la playa de Isla Canela.



Figura 2.26: Playa de Punta del Moral (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

2.5.2 **Playa de la Antilla**

Este tramo de costa es mayor que el anterior, parte del dique de encauzamiento de levante del río Carreras o Puerto de Isla Cristina y discurre con una dirección casi horizontal (este-oeste). Finaliza en la desembocadura del río Piedras o en la punta de la Flecha del Rompido. Formalmente se divide en siete playas: Playa de Punta del Caimán, Playa Central, Playa del Hoyo, Playa de Redondela, Playa de Islantilla, Playa de la Antilla y Playa de Nueva Umbría.

Playa de la Punta del Caimán: Se encuentra apoyada en el dique de encauzamiento de levante del río Carreras, pertenece al término municipal de Isla Cristina. Su entorno está ocupado por el casco urbano de Isla Cristina y marismas. El material sedimentario que forma la playa es similar al resto del tramo: arena fina de color dorado. Su longitud es de 2000 m y tiene una anchura media de 75 m.



Figura 2.27: Playa Punta del Caimán

Playa Central o del Verdigón: Ubicada a continuación de la playa Punta del Caimán, dentro del mismo término municipal de Isla Cristina, su anchura es considerable y el material que la forma es similar al resto del tramo. Su entorno es de urbanizaciones y zonas de pinares, manteniéndose todavía algunas zonas dunares. Su longitud es de 1500 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.28: Playa Central o del Verdigón

Playa del Hoyo: Es la continuación de la playa del Verdigón y está situada en el mismo término municipal. Aún se mantienen zonas dunares hoy en día protegidas. La anchura de la playa es considerable y su material es similar a la playa anterior. Su longitud es de 2800 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.29: Playa del Hoyo con sus zonas dunares protegidas.

Playa de Redondela: Esta playa es un pequeño tramo de 600 m de longitud y una anchura de 60 m perteneciente a Redondela; pero formalmente es la misma playa que la anterior y la siguiente. En su trasplaya existe una zona de eucaliptus.

Playa de Islantilla: Se encuentra situada frente a la urbanización del mismo nombre, aunque forma con las anteriores y siguientes una playa continua, por lo que sus características físicas son iguales. Su longitud es de 1200 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.30 Playa de Islantilla

Playa de La Antilla: Situada en el término municipal de Lepe, frente al casco urbano de La Antilla. Forma una unidad con las anteriores playas y la siguiente, por lo que sus características físicas son iguales. Su longitud es de 3500 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.31: Playa de la Antilla

Playa de Nueva Umbría: Es una continuación hacia levante de la playa de La Antilla y que conforma el borde litoral de la Flecha del Rompido. Está situada dentro del término municipal de Lepe. El tipo de sedimento que la forma es idéntico al de todo el frente costero descrito. Su longitud es de 12000 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.32: Playa de Nueva Umbría

2.5.3 Playa de Punta Umbría

Al igual que el resto de los tramos de playa, ésta forma un conjunto continuo que parte tras la desembocadura del río Piedras hasta el dique de Punta Umbría. Formalmente, se encuentra formado por cuatro playas sucesivas: Playa del Portil, Playa de la Bota, Playa de Mata Negra y Playa de Punta Umbría.

Playa del Portil: Constituye el frente de la Laguna del Portil, ya afectado por los bajos de la punta de la Flecha del Rompido. Los sedimentos son similares a los que se hallan en las playas anteriores. Su longitud es de 3600 m y tiene una anchura media de 40 m.



Figura 2.33: Playa del Portil (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Playa de la Bota: Continuación de la anterior, tuvo en el pasado problemas erosivos que obligaron a construir una serie de espigones cortos. En su trasplaya existe un extenso pinar. Forma una unidad con las anteriores playas y la siguiente, por lo que sus características físicas son iguales. Su longitud es de 3800 m y tiene una anchura media de 35 m.



Figura 2.34: Playa de la Bota (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Playa de Mata Negra: Continuación de la anterior, en su trasplaya existe un extenso pinar que es el prolegómeno de la flecha de Punta Umbría. Forma una unidad con las anteriores playas y la siguiente, por lo que sus características físicas son iguales. Su longitud es de 2300 m y tiene una anchura media de 50 m.

Playa de Punta Umbría: Final del conjunto de todas estas playas, donde en su extremo se construyó un dique que cortó la antigua flecha, con el fin de frenar la erosión que se produjo a comienzos de los años 80 del pasado siglo en su punta, con un notable crecimiento posteriormente. Discurre frente a la localidad de Punta Umbría. Forma una unidad con las anteriores playas y la siguiente, por lo que sus características físicas son iguales. Su longitud es de 3800 m y tiene una anchura media de 50 m.



Figura 2.35: Playa de Punta Umbría en la punta de la flecha (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

2.5.4 **Playa de la Flecha de Huelva**

La Guía de Playas no lo considera como playa, al no usarse como uso recreativo. Discurre a lo largo del dique de Juan Carlos I del Puerto de Huelva. Pertenece al frente de la antigua flecha de Huelva y su longitud actual es de unos 7800 m.

2.5.5 **Playa de Castilla**

Al igual que el resto de los tramos de playa, ésta forma un conjunto continuo que parte de la ría o canal de Huelva y finaliza en la desembocadura de río Guadalquivir. Formalmente, se encuentra formado por cuatro playas sucesivas: Playa de Mazagón, Playa del Parador, Playa de Castilla y Playa de Matalascañas.

Playa de Mazagón: Se apoya en el puerto de Mazagón que se encuentra en la salida del canal o ría de Huelva, en su margen continental. Los sedimentos son similares al de tramos anteriores. Su trasdós está formado por cantiles arenosos que se precipitan en la playa y son muy fácilmente erosionables, por lo que constituyen una fuente de material a las playas. Forma una unidad con las siguientes playas. Su longitud es de 5500 m y tiene una anchura media de 40 m.



Figura 2.36: Playa de Mazagón (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Playa del Parador: Situada frente al Parador Nacional de Mazagón, quien le da nombre, es formalmente la misma playa que la anterior con los cantiles arenosos, si bien existe mucha menor presión urbanística sobre ella. Su longitud es de 2000 m y tiene una anchura media de 30 m.



Figura 2.37: Playa del Parador (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Playa de Castilla: Es la continuación natural de las playas anteriores por lo que la estructura es similar a las anteriores: Un cantil o acantilado arenoso que tiene como rasa una extensa playa con una longitud de 20 km y una anchura media de 40 metros. La arena que la forma es de similares características y color dorado, que las anteriores y que los propios acantilados. Finaliza en la punta de la flecha de Doñana en la desembocadura del río Guadalquivir, si bien

entre medias, un tramo de ella se le conoce con el nombre de la urbanización que se encuentra enfrente.



Figura 2.38: Playa de Castilla (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)

Playa de Matalascañas: Es la playa que se encuentra en el frente de Matalascañas; comienza en la llamada playa de la Higuera y finaliza en las mismas puertas del Coto de Doñana, conociendo el tramo final de la playa de Castilla donde se encuentra Doñana como playa del Coto o de Doñana. Esta playa de Matalascañas ha tenido y tiene problemas debido principalmente a la presión urbanística sobre su costa, unido a estados erosivos de la costa. Su longitud es de 4200 m y su anchura de 40 m.



Figura 2.39: Playa de Matalascañas (fuente: Guía de Playas, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar)



2.6 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA COSTERA

El estudio y análisis de la plataforma costera continental que se desarrolla frente a la costa onubense se ha realizado utilizando la documentación que contienen los estudios del Instituto Español de Oceanografía (Rey et al., 1989), más general, de la Junta de Andalucía, y Ministerio de Ambiente e do Ordenamento do Territorio de Portugal (2001) para la desembocadura del río Guadiana, más específico.

El primero de los estudios indica para la plataforma continental española frente a la desembocadura del río Guadiana: "... Entre el río Guadiana y el río Tinto se observa una banda de afloramientos rocosos que se sitúa a lo largo del límite de la plataforma interna y media, formando una alineación subparalela a la costa. Se trata de formaciones calcareníticas correspondientes a cordones litorales preholocénicos. Asociadas a estas unidades aparecen arenas gruesas y gravas de la misma composición... ”.

En el mapa de este estudio se aprecia que la plataforma interna, hasta 20 o 30 m de profundidad, está compuesta principalmente de arena. A partir de ella se desarrolla en la plataforma media, hasta 100 m de profundidad una superficie en la que predomina el fango y material fino.

El estudio fisiográfico de la margen atlántica de la península Ibérica (Junta de Andalucía et al., 2001) es más específico respecto a la caracterización de los fondos marinos de la plataforma continental frente a la desembocadura del río Guadiana.

La plataforma interna la describe: "... Esta unidad infralitoral se extiende hasta los 20 o 30 metros de profundidad, sobre la vertiente submarina de los depósitos del prisma detrítico reciente, el cual emerge bajo la forma de un remarcable sistema de cordones litorales, flechas litorales ... e islas barrera. Desde el fin de la trasgresión holocénica [que para este tramo de costa se produjo hasta hace unos 5000 años (Melieres, 1974) con un máximo hace 6000 años aproximadamente] esta unidad concentra la mayor actividad morfosedimentaria debido al efecto de las corrientes de marea, más eficientes frente a las barras que se abren en las formaciones arenosas emergidas... ”.

La plataforma interna la describe: "...Esta unidad infralitoral se extiende hasta los 20 o 30 metros de profundidad, sobre la vertiente submarina de los depósitos del prisma detrítico reciente, el cual emerge bajo la forma de un remarcable sistema de cordones litorales, flechas litorales ... e islas barrera. Desde el fin de la trasgresión holocénica [que para este tramo de costa se produjo hasta hace unos 5000 años (Melieres, 1974) con un máximo hace 6000 años aproximadamente] esta unidad concentra la mayor actividad morfosedimentaria debido al efecto de las corrientes de marea, más eficientes frente a las barras que se abren en las formaciones arenosas emergidas. ...

La plataforma media la divide en dos subunidades: prodeltas, o formación detrítica costera; y plataforma media. Y las describe como:

La formación detrítica costera "... Esta unidad se extiende entre los 30 y 70 metros de profundidad, a veces a profundidades menores como en la hoja de Ayamonte. ... Está formada por material detrítico grosero, a veces rubefactado, cubriendo una amplia gama granulométrica donde predominan las arenas y gravas, completada frecuentemente por importantes contingentes de fragmentos bioclásticos... ”.

La plataforma media: "... Al pie del talud antes citado [situado ligeramente por encima y por debajo de la isobara 50 m] y hasta una profundidad media de 100 m se extiende, ocupando una posición intermedia en la plataforma continental, una unidad fangosa de amplitud variable ... En los sedimentos predominan las fracciones finas (50 % de las fracciones pelíticas), generalmente de escaso espesor, estando alimentada por fracciones terrígenas que son redistribuidas por corrientes débiles... ”.

La plataforma exterior también puede conocerse perfectamente por la descripción del trabajo citado, donde se lee: "... Desplazándonos hacia aguas más profundas, por debajo de la isobata 100 m (como media) la unidad anterior está bordeada por una segunda unidad de material detrítico. ... La mayor parte de su superficie está ocupada por fondos de materiales de granulometría variable y entremezclados, donde las arenas medias y gruesas mal clasificadas, son dominantes. ... Como en todo el sector submarino con sedimentación terrígena escasa, predomina el aporte biogénico local: las fracciones conchíferas (biocalcarenitas) enriquecen el sedimento representando más de la mitad de su peso... ”.

2.7 RED FLUVIAL

Los ríos más importantes que desembocan en la costa onubense, de poniente a levante, son:

- Guadiana
- Carreras o Cabrerías
- Piedras
- Odiel
- Tinto
- Guadalquivir

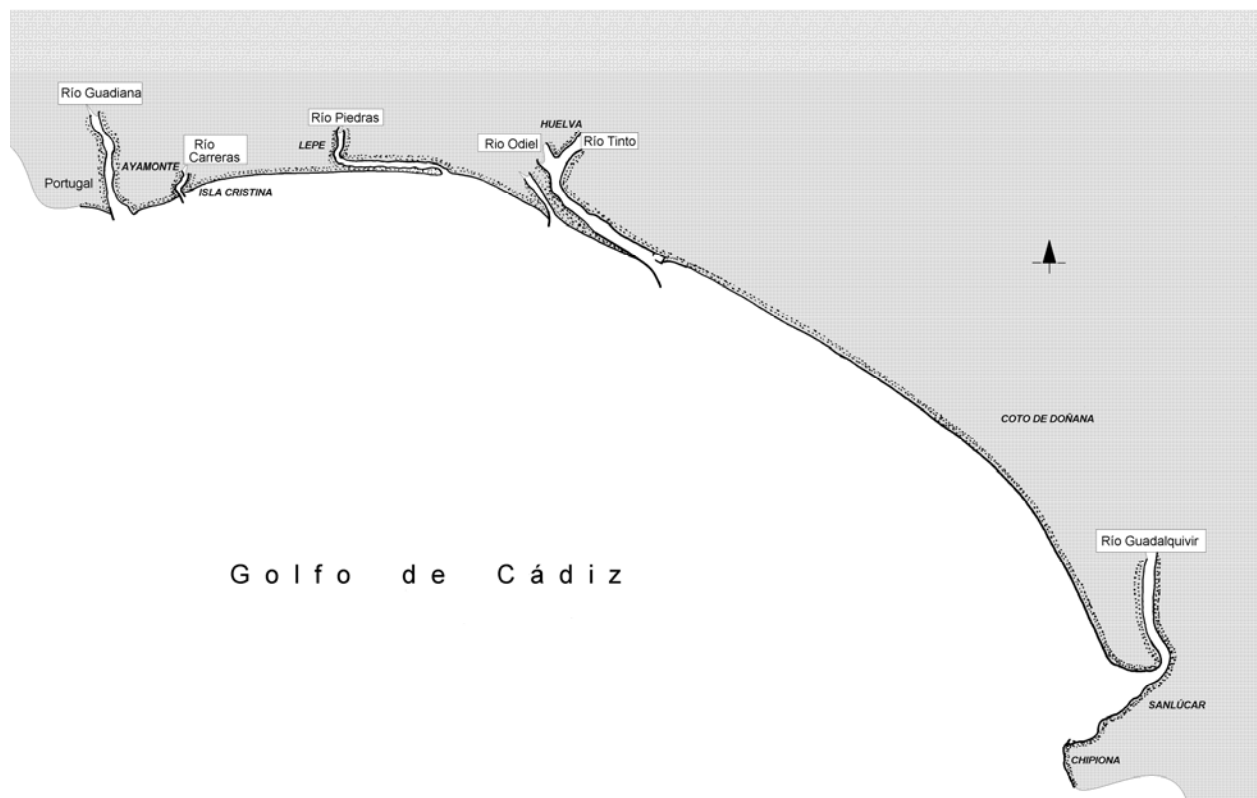


Figura 2.40: Red fluvial del frente costero de Huelva

2.7.1 Río Guadiana

De todos los ríos que desembocan en la costa onubense, es el Guadiana el más importante por los aportes que proporciona a las costas. Desemboca en Ayamonte, España, o en Vila Real de Santo Antonio, Portugal, formando su estuario un complejo sistema de marismas asociado a dos flechas litorales, de Isla Canela y la Espada. En la actualidad se encuentra regulado en la totalidad de su cuenca con 23 embalses de importancia y 27 embalses menores.



Figura 2.41: Embalses de la cuenca de los ríos Guadiana, Piedras, Odiel y Tinto

2.7.2 Río Carreras o Cabrerías

Es un cauce de muy poca longitud; nace en los montes próximos con el aporte de diversos arroyos que vierten sus aguas en él: Prado, Corcho, Valdeinfierno y Valdelimonos. Es el único de los ríos que no se encuentra regulado. Junto con el Caño de la Cruz constituyen la salida al mar por Isla Cristina.

2.7.3 Río Piedras

Es un río de pequeña longitud que nace en los montes cercanos y desemboca en las proximidades de Cartaya, formando un conjunto de marismas no muy extensas, algunas de ellas colmatadas y consolidadas. Asociado a la desembocadura se ha formado la flecha del Rompido. Se encuentra regulado en todo su curso por tres embalses: Tres Picos, Piedras y los Machos.

2.7.4 Río Odiel

Confluye con el río Tinto en Huelva, desembocado en varios canales en los que se han formado las flechas litorales de Punta Umbría y Huelva. Su cauce se encuentra totalmente regulado por veinte embalses; siendo el de mayor entidad por su volumen embalsado el de Sancho y Sotiel.

2.7.5 Río Tinto

Confluye con el río Odiel en Huelva, para posteriormente desembocar en el mar. Su cuenca hidrográfica es de menor extensión que la del río Odiel. También se encuentra totalmente regulada por doce embalses.

2.7.6 Río Guadalquivir

Desemboca en el extremo oriental de la costa de Huelva. Forma la flecha de Doñana que alberga el complejo de marismas de Doñana. Se encuentra totalmente regulado; siendo los embalses más importantes los de: Tranco de Beas en la provincia de Jaén; Iznájar, en el río Genil; La Breña II, en el río Guadiato; Negrátin, en el río Guadiana Menor; Giribaile, en el río Guadalimar; Guadalmena, en el río Guadalmena; Bembézar, en el río Bembézar; Jándula, en el río Jándula; Zufre, en el Rivera de Huelva; y Arenoso, en el Río Arenoso.



3. CLIMA MARÍTIMO

La caracterización del clima marítimo de todo el frente costero onubense se realiza utilizando los datos que de éste poseen los diversos informes técnicos que se han hecho referencia en el capítulo 1.

Básicamente se ha centrado en cuatro variables climáticas marinas:

- Oleaje
- Viento
- Corrientes
- Elevaciones del nivel del mar

3.1 OLEAJE

Como se sabe, el oleaje es el principal agente causante de la dinámica litoral de las playas y de la evolución en el tiempo de las mismas, por lo que su conocimiento es imprescindible para evaluar y estudiar su comportamiento.

La metodología seguida, en todos los informe técnicos del CEDEX para estudiar el oleaje en el entorno del tramo de costa considerado puede resumirse en:

- 1) La búsqueda de fuentes de información de datos de oleaje en alta mar.
- 2) El análisis y fiabilidad de dichos datos de oleaje.

3.1.1 Fuentes de datos de oleaje

El estudio de clima marítimo se puede realizar en base a dos fuentes de datos de oleaje:

1. Los datos visuales de oleaje del Nacional Climatic Data Center (N.C.D.C.) situado en Asheville (Carolina del Norte, EE.UU.)
2. Los datos de oleaje direccionales de la red de boyas de Puertos del Estado de aguas profundas.

3.1.1.1 Datos de oleaje visuales provenientes del N.C.D.C.

Los datos de oleaje provenientes del N.C.D.C. son observaciones tomadas por diferentes fuentes, tales como: barcos en ruta, barcos meteorológicos, observaciones de boyas, etc. Los instrumentos de toma de datos utilizados han sido muy variados a lo largo de la historia, pues dichos datos comenzaron a tomarse en el pasado siglo. En 1963 la "International Marine" estableció los cánones para disponer la manera en que debían tomarse los datos para una mejor informatización de los mismos.

Los datos vienen diferenciados según el tipo de oleaje, Sea o Swell, proporcionando para cada observación: la altura, el período y la dirección de la ola, así como las coordenadas geográficas del punto de observación.

La altura de ola suministrada por dichos datos, al ser estos visuales, se asemeja a la altura de ola significativa $H_{1/3}$, que por otra parte es la más corrientemente utilizada en el estudio de los procesos litorales.

Los datos suministrados por el N.C.D.C., como se ha escrito recientemente, facilitan la altura y período de ola, así como en la dirección que proviene y el tipo de oleaje que es. La altura de ola viene agrupada en intervalos escalonados de 0.5 metros, de amplitud, partiendo de 0,5 metros hasta alcanzar los 49.5 metros, las alturas de ola inferiores a 0.25 metros las supone calmas. Los períodos de onda vienen expresados en escalones de 2 segundos; comenzando por valores menores de 5 segundos, hasta el último escalón para valores mayores de 21 segundos. Las direcciones del oleaje se ordenan en 36 husos de 10. Todas las observaciones vienen separadas según sea el tipo de oleaje, Sea o Swell.

Los principales inconvenientes achacables a los datos del N.C.D.C. son de dos tipos: el primero de ellos es la heterogeneidad en la toma de datos y el segundo el procesado de los mismos; dado que pasa por dos escalones, el realizado por el propio N.C.D.C. y el efectuado por cada organismo receptor de los datos, no existiendo, muchas veces, criterios homogéneos para el procesado. A su vez la gran ventaja que posee este banco de datos reside en la cantidad y extensión, en espacio y tiempo, de las observaciones, además de proporcionar datos direccionales. Otro de los inconvenientes, aunque este en menor medida, es la densidad de los datos, pues existen zonas de alta concentración de los mismos, coincidiendo generalmente con las rutas marítimas más utilizadas, disminuyendo dicha concentración en zonas poco transitadas por barcos o en las proximidades de la costa.

3.1.1.2 Datos de oleaje direccionales de la red de aguas profundas

La Red de Boyas en Aguas Profundas de Puertos de Estado está formada por 9 boyas Seawatch y 3 Wavescan con sensor de oleaje direccional. Los instrumentos están ubicados en puntos con profundidades entre 200 y 800 metros y miden parámetros oceanográficos y meteorológicos. Las boyas están situadas en: Bilbao, Cabo de Peñas, Estaca de Bares, Villano-Sisargas, Cabo Silleiro, Golfo de Cádiz, Mar de Alborán, Cabo de Gata, Cabo Begur, Mahón, Tenerife y Gran Canaria. Los datos son transmitidos cada hora vía satélite y se pueden consultar en la página web de Puertos del Estado.

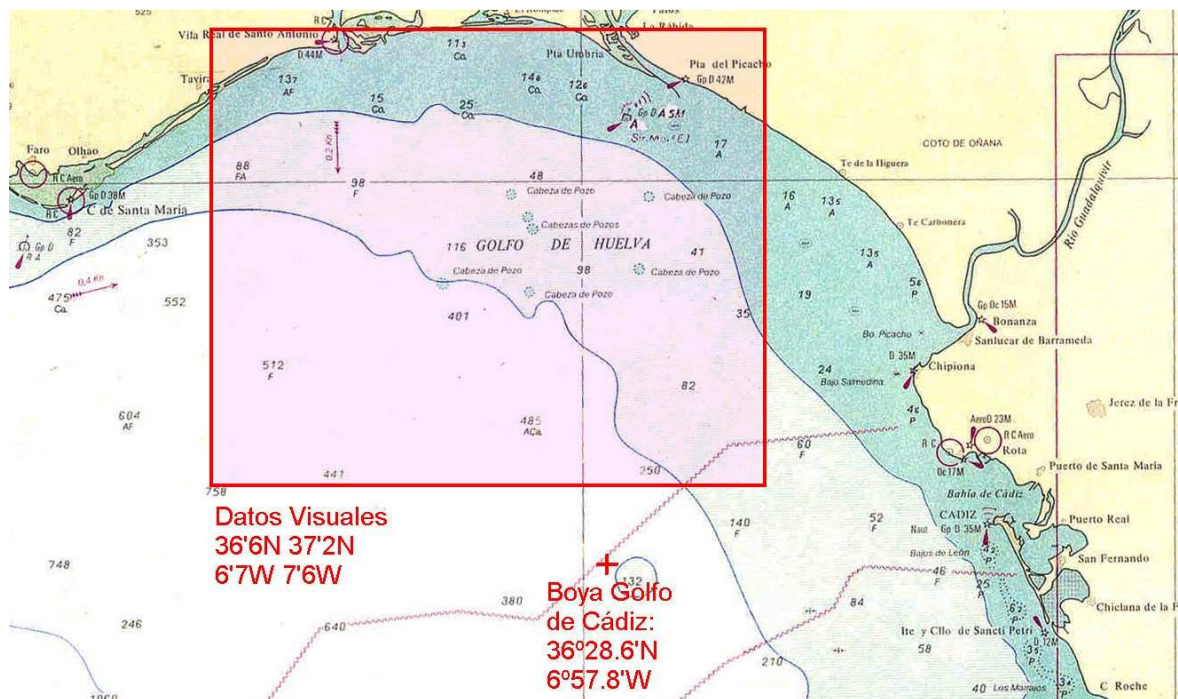


Figura 3.1: Situación de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado y de la cuadrícula de toma de datos visuales usada (CEDEX 2003)



La boya de la Red en Aguas Profundas que se encuentra más próxima a la zona de estudio es la del Golfo de Cádiz. Es una boya escalar del tipo Seawatch. La fecha inicial de fondeo es agosto de 1996, se encuentra a una profundidad de 450 metros y se sitúa centrada en el Golfo de Cádiz, en las coordenadas geográficas siguientes:

Latitud: 36° 28.6´ N
Longitud: 6° 57.8´ W

La caracterización del oleaje se ha realizado en dos zonas: la occidental, donde los datos básicos se han tomado del informe del CEDEX de 2003, centrada en la desembocadura del río Guadiana; y la oriental, tomada de los informes del CEDEX de 1991.

3.1.2 Oleaje en la costa occidental de Huelva

El clima de oleaje en la zona occidental de la costa de Huelva se ha caracterizado, como anteriormente se ha indicado por dos fuentes de datos:

3.1.2.1 Datos de oleaje visuales provenientes del N.C.D.C.

Para definir las características del oleaje en las proximidades del estuario del río Guadiana se ha considerado la cuadrícula de observaciones definida por las coordenadas siguientes:

Latitud 36° 36' Norte – 37° 12' Norte
Longitud 6° 42' Oeste – 7° 36' Oeste

En la Figura 3.1 aparece la malla de toma de datos visuales del N.C.D.C. El número total de observaciones obtenidas fue de 4.353, distribuidas de la siguiente manera:

<u>Oleaje SEA</u>	
Número de válidas	2.017
Número de calmas	479
Número sin período	198
<u>Número de confusas</u>	<u>240</u>
Total de observaciones	2.934

<u>Oleaje SWELL</u>	
Número de válidas	1.005
Número de calmas	91
Número sin período	103
<u>Número de confusas</u>	<u>220</u>
Total de observaciones	1.419

Para el oleaje Sea, los oleajes predominantes son los correspondientes a los ejes EN-WS y E-W, presentando cada una de estas cuatro direcciones más del 11'5% del total del oleaje registrado. Destacan, sin embargo, los oleajes del tercer cuadrante, el W y el WS; con unos porcentajes de presentación del 13,04 y 12,92%, respectivamente. En general, los oleajes se encuentran bastante equilibrados, correspondiendo los menores al segundo cuadrante.

Se han registrado 12 observaciones de oleaje superiores a los 4 metros; el 0,48% del total del oleaje visual registrado en la cuadrícula considerada. La altura de ola que se presenta con mayor frecuencia corresponde al escalón entre 0 y 0,5 metros, 39,30%, seguido por los

escalones de 0,5 a 1,0 y 1,0 a 1,5 metros, con el 22,28 y 10,50%, respectivamente. Para el resto del oleaje, disminuyen rápidamente los porcentajes al aumentar la altura de ola. Las calmas representan el 19'19% de las observaciones.

Los períodos predominantes del oleaje Sea son iguales o menores de 5 segundos; 71,15% del total. Los períodos iguales o mayores de 10 segundos representan el 1,04% del total.

Para el oleaje Swell los oleajes predominantes provienen de poniente: W, WS y WN, presentando un 22,24, 13,93 y 11,04%, respectivamente. Los oleajes del este les siguen en importancia, sin embargo, reducen su porcentaje de presentación respecto al oleaje Sea. Los oleajes de menor importancia son los provenientes del eje N-S.

Se han registrado 13 observaciones de oleaje Swell superiores a los 4 metros; el 1,18% del total del oleaje visual registrado en la cuadrícula considerada. La altura de ola que se presenta con mayor frecuencia corresponde al escalón entre 0,5 a 1,0 metros, 27,74%, seguido por los escalones de 0 y 0,5 y 1,0 a 1,5 metros, con el 18,98 y 18,70%, respectivamente. Para el resto del oleaje, disminuyen los porcentajes al aumentar la altura de ola. Las calmas representan el 8'30% de las observaciones.

Los períodos predominantes del oleaje Swell se encuentran mucho más repartidos que los del oleaje Sea. El período predominante es, de nuevo, igual o menor de 5 segundos; 46,08% del total, seguido por los escalones de 6-7 y 8-9 segundos; 24,82 y 10,77% respectivamente. Los períodos iguales o mayores de 10 segundos representan el 10'04% del total.

Si se considera conjuntamente el oleaje Sea y Swell registrado en la cuadrícula de toma de datos visuales, se obtiene una distribución de alturas de ola media entre las dos anteriores, si bien teniendo más peso el oleaje Sea, al existir el doble de datos que de Swell. Predominan los oleajes menores, destacando los escalones de 0 a 0,5 y de 0,5 a 1,0 m; con el 33,10 y el 23,94%, respectivamente, disminuyendo los porcentajes al aumentar la altura de ola. Las calmas representan el 15,87% del total del oleaje registrado. El período predominante es el menor o igual a 5 segundos; 63,50% del total.

3.1.2.2 Datos de oleaje escalares de la Red de Boyas en Aguas Profundas de Puertos del Estado

La descripción del oleaje en aguas profundas se va a realizar en base a los registros de oleaje escalar obtenido de la boya del Golfo de Cádiz de Puertos del Estado. Dicha boya se sitúa en una posición centrada en el Golfo de Cádiz, según se recoge en la Figura 3.1.

En la figura adjunta, se presentan los datos direccionales obtenidos entre octubre de 1996 y noviembre de 2001, que corresponden, por tanto, a un periodo climático de cinco años.

A su vez, se observa que el oleaje superior a los 4 metros representa el 0,80% del total del oleaje registrado en la boya. Las alturas de ola que se presentan con mayor frecuencia corresponden a los escalones de 0,5 a 1,0, 1,0 a 1,5 y 1,5 a 2,0 metros; con porcentajes de 43,93, 27,65 y 11,34%, respectivamente. Para el resto del oleaje, disminuyen los porcentajes al aumentar la altura de ola. Las calmas y alturas menores de 0'5 m representan el 7,13% de las observaciones.

El período predominante corresponde al escalón entre 6-7 segundos; 27,38%, seguido del oleaje menor o igual de 5 segundos; 25,70%. Los períodos iguales o mayores de 10 segundos representan el 24,28% del total.



DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE PERIODO DE PICO Y ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : Cádiz

PERIODO : Anual

SERIE ANALIZADA : Oct. 1996 - Nov. 2001

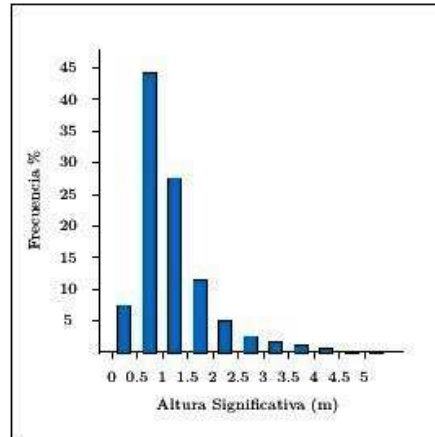
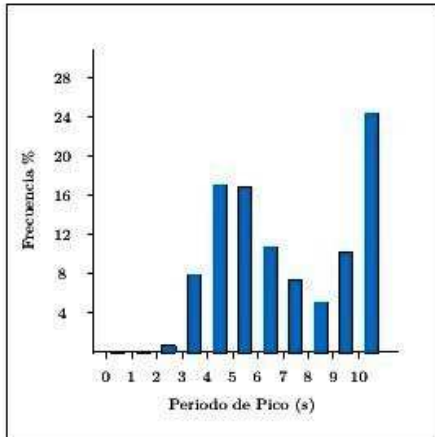


Tabla Periodo de Pico (Tp) - Altura Significativa (Hs) en %

Hs (m)	Tp (s)											Total
	≤ 1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	> 10.0	
≤ 0.5	-	-	.221	1.160	1.025	.505	.513	.826	.868	1.018	.997	7.133
1.0	-	-	.505	6.293	9.453	5.645	1.659	2.862	2.541	5.296	9.681	43.935
1.5	-	-	-	.541	6.079	7.005	2.812	.897	.698	2.015	7.603	27.648
2.0	-	-	-	-	.413	2.976	3.296	.918	.285	.740	2.712	11.340
2.5	-	-	-	-	.014	.498	1.744	.755	.199	.285	1.338	4.833
3.0	-	-	-	-	-	.071	.569	.569	.142	.199	.690	2.242
3.5	-	-	-	-	-	.007	.057	.299	.149	.235	.555	1.303
4.0	-	-	-	-	-	-	.028	.071	.114	.249	.306	.769
4.5	-	-	-	-	-	-	-	.028	.078	.142	.100	.349
5.0	-	-	-	-	-	-	-	.028	.014	.028	.164	.235
> 5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	.014	.064	.135	.214
Total	-	-	.726	7.994	16.985	16.707	10.678	7.254	5.104	10.272	24.281	100 %

Figura 3.2: Distribución conjunta período de pico-altura significativa del oleaje de la boya del golfo de Cádiz de la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado (fuente: Puertos del Estado)

3.1.3 Oleaje en la zona centro y occidental de Huelva

La caracterización del oleaje en la zona centro y occidental de Huelva se realizó utilizando los datos de oleaje visuales provenientes del N.C.D.C.

Para conocer el oleaje en alta mar, frente a las costas de Huelva, se consideró el sector de observaciones visuales que abarcaba toda la ensenada de Huelva; para ello se tomó la malla comprendida entre:

Latitud 36° 12' Norte – 37° 18' Norte
Longitud 6° 18' Oeste – 8° Oeste

El número total de observaciones registradas visualmente, hasta la fecha en que se realizaron los informes -1991-, fue de 40.726, distribuidas de la siguiente manera:

Oleaje SEA

Número de válidas	19.305
Número de calmas	1.936
<u>Número de confusas</u>	<u>4.038</u>
Total de observaciones	25.279

Oleaje SWELL

Número de válidas	12.958
Número de calmas	1.752
<u>Número de confusas</u>	<u>737</u>
Total de observaciones	15.447

Los oleajes tipo Sea se caracterizan por tener unos porcentajes de presentación similares para los Levantes y los Ponientes, con el 12,15% y el 13,68% respectivamente, si bien la dirección predominante, para este tipo de oleajes es la proveniente de oeste-norte, con el 16,74%. Son también significativos los oleajes provenientes del noroeste, este-sur y oeste-sur, con el 11,44%, 9,87% y 7,74% respectivamente. El resto de las direcciones de oleaje no tienen gran significación, desde el punto de vista porcentual. Las mayores alturas de ola significativa rebasan los 7 metros, si bien con porcentajes pequeños, salvo para los oeste-sur, sureste y primer cuadrante, salvo para los Levantes, que no sobrepasan los 5 metros de altura de ola significativa.

Los oleajes tipo Swell presentan diferencias notables respecto al oleaje tipo Sea. La primera de las diferencias acusadas es la marcada tendencia de poniente, en los propios Ponientes y en los oeste-nortes, con el 27,61% y el 21,82%, que copan así la mitad de oleaje total tipo Swell en estas costas. Especial significación tienen los oleajes provenientes del este-sur, 12,37%, levante, 10,45%; oeste-sur, 8,26%; y noroeste, 7,10%. El resto de las direcciones son irrelevantes, respecto al porcentaje de presentación, no alcanzando en ninguno de los casos el 3%. Las alturas de ola asociadas a las direcciones siguen la misma tónica que la enunciada para el oleaje tipo Sea, si bien tienen un mayor porcentaje de presentación en este caso.

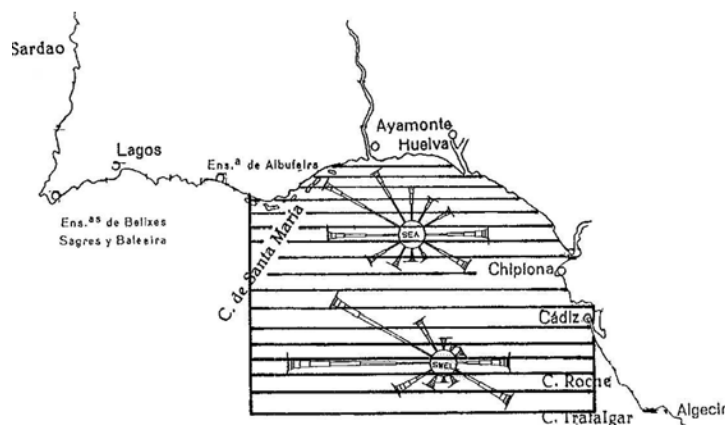


Figura 3.3: Rosas de oleaje, datos visuales, de la ensenada de Huelva (CEDEX 1991)

3.1.4 Límites de oleaje

Al igual que se ha realizado en los datos de oleaje, se ha dividido la costa de Huelva en dos tramos: El occidental y el oriental. Los datos del primero de ellos corresponde a los obtenidos



del informe de 2003 del CEDEX, mientras que para el segundo se han tomado aquellos datos que contienen los informes del CEDEX de 1991.

3.1.4.1 Límites de oleaje en la costa occidental de Huelva

Los oleajes que son susceptibles de alcanzar la costa próxima a la desembocadura del río Guadiana están limitados por la propia configuración de la costa. Estos oleajes se reducen, en los casos extremos, a los comprendidos entre el este y el oeste.

Se han calculado los límites de oleaje en diez puntos de la costa, tanto para el Swell, como para el oleaje tipo Sea. El punto más occidental corresponde a la playa de Manta Rota en Portugal. En Isla Canela, Ayamonte, entre la desembocadura del río Guadiana y el espigón de Isla Cristina, los límites de oleaje se han calculado en cinco puntos, denominados: Dique, Isla Canela 1, 2, 3 y 4; este último entre las playas de Isla Canela y de los Haraganes. Por último, las otras cuatro playas donde se han analizado los límites, de poniente a levante, son: El Verdigón; en Isla Cristina, El Hoyo; en Isla Cristina, La Antilla; en Lepe, y Nueva Umbría; en la flecha del Rompido en Lepe.

En la tabla siguiente se indican los límites de oleaje Sea y Swell y la normal a la línea de orilla en las diez playas comentadas anteriormente. Para el oleaje Sea y Swell, el límite de poniente es, generalmente, el cabo de Santa María en Portugal. Para el oleaje Sea, el límite de levante es el morro del dique Juan Carlos I, en Huelva, y para el oleaje Swell es el cabo de Trafalgar, en Cádiz.

LÍMITES DE OLAJE Y NORMAL A LA COSTA					
Situación	SEA		SWELL		Normal a la costa
	Este	Oeste	Este	Oeste	
Manta Rota	85	235	129	235	150
Isla Canela-Dique	121	218	132	218	211
Isla Canela-1	99	242	132	242	181
Isla Canela-2	99	243	133	243	160
Isla Canela-3	100	223	134	223	136
Isla Canela-4	101	223	134	223	156
Verdigón	103	213	134	213	171
Hoya	106	246	136	244	177
La Antilla	108	255	137	246	175
Nueva Umbría	115	260	140	249	184

Con las limitaciones impuestas a la acción del oleaje y teniendo en cuenta el clima de oleaje en alta mar, los oleajes que pueden alcanzar directamente la zona de estudio dependen de cada punto concreto de la costa y del tipo de oleaje, variando del este, este-sur o sur-este hasta el sur-oeste, el oeste-sur o el oeste. En las figuras siguientes, se presentan los límites de oleaje Sea y Swell susceptibles de alcanzar la costa próxima a la desembocadura del río Guadiana.

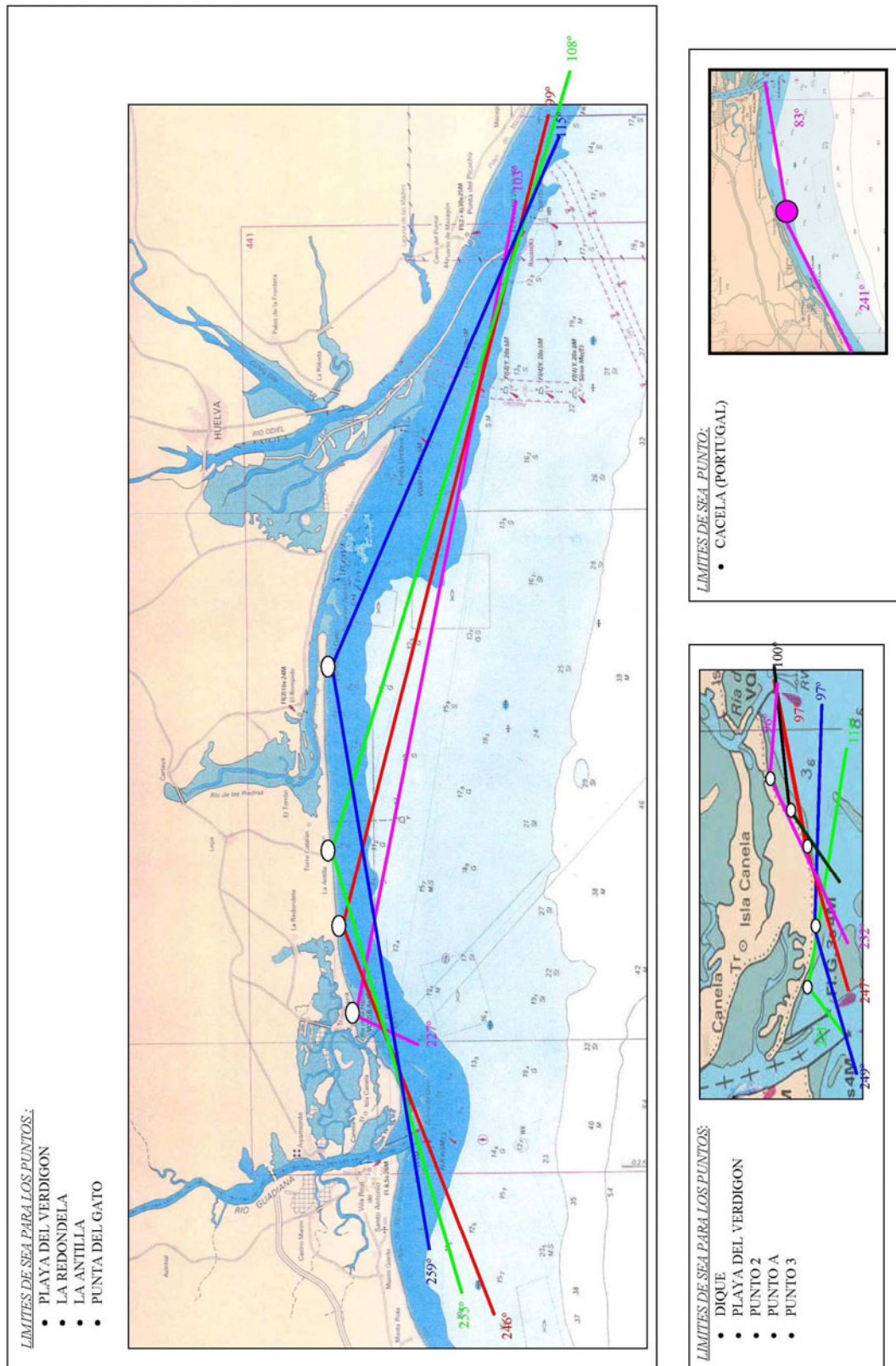


Figura 3.4: Límites de oleaje tipo Sea en las proximidades del río Guadiana (CEDEX 2003)

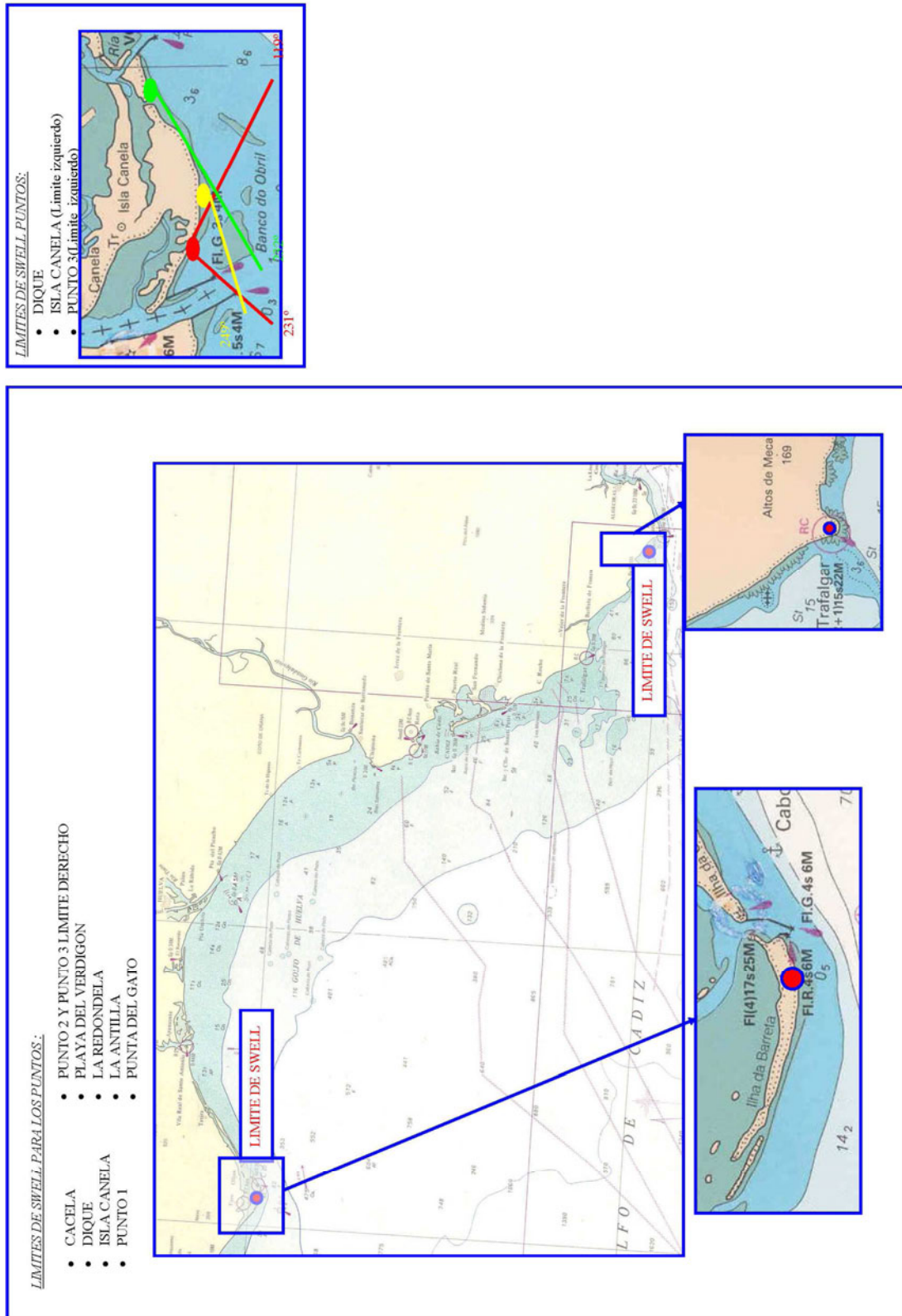


Figura 3.5: Límites de oleaje tipo Swell en las proximidades del río Guadiana (CEDEX 2003)

3.1.4.2 Límites de oleaje en la costa central y oriental de Huelva

La antigua flecha de Huelva, hoy playa apoyada en el dique de encauzamiento Juan Carlos I, tiene una orientación de 116° respecto del norte, y por tanto con una normal a la costa de 206° . Inmediatamente a barlomar, flecha de Punta Umbría, la costa tiene una dirección de 118° , con una normal a ella de 208° . A sotamar, playa de Castilla a la altura de Matalascañas, la costa toma una dirección de 121° , con normal de 211° .

De acuerdo con la configuración de la costa, los oleajes que pueden incidir en ella, serán los limitados hacia poniente por el Cabo de Santa María y hacia levante, para oleajes tipo Swell, por Cádiz, y para oleajes tipo Sea, por el morro del propio dique Juan Carlos I, salvo la playa de Castilla que su límite es también Cádiz.

Los límites de oleaje en el entorno de Huelva se han analizado en los siguientes tres puntos: Punta Umbría, la flecha de Huelva y la playa de Castilla. Los valores obtenidos para los oleajes tipo Sea y Swell se indican a continuación.

LÍMITES DE OLAJE EN EL CENTRO Y ORIENTE DE LA COSTA DE HUELVA			
	Sea	Swell	Normal a la costa
Punta Umbría	122° y 255°	140° y 255°	208°
Huelva	126° y 257°	143° y 257°	206°
Playa de Castilla	152° y 264°	152° y 264°	211°

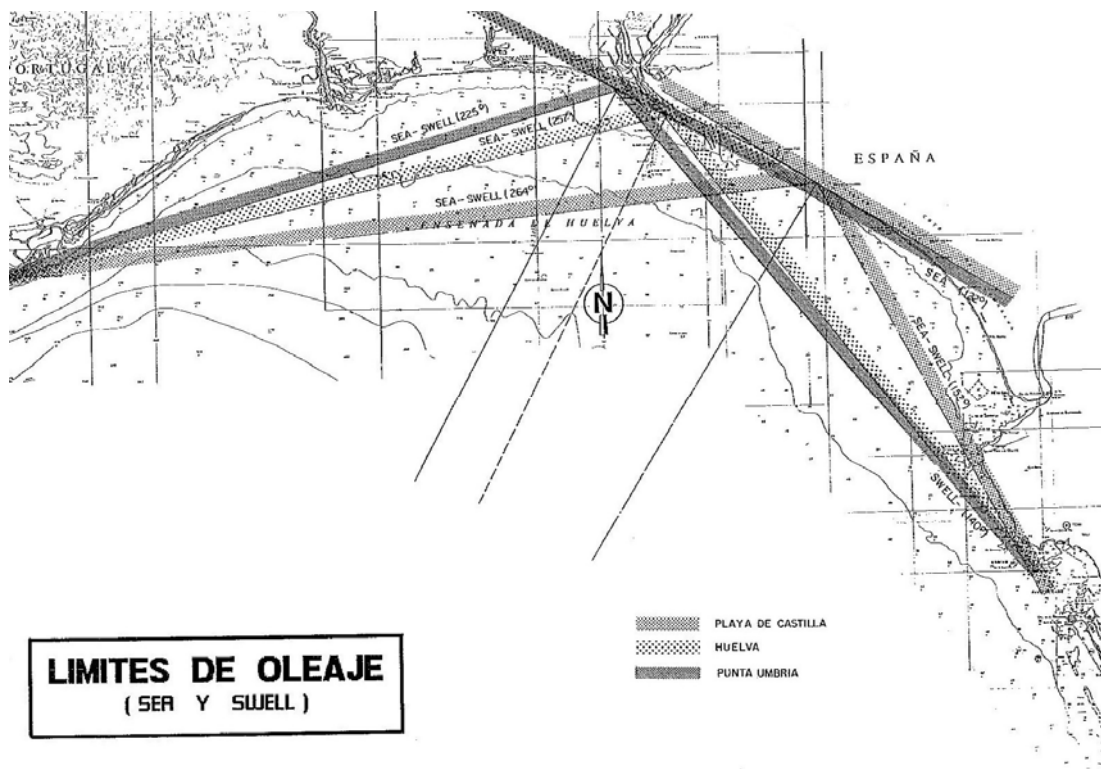


Figura 3.6: Límites de oleaje en tres puntos de la costa centro y oriental de Huelva (CEDEX 1991)

3.2 VIENTO

La descripción del viento en la zona comprendida entre la desembocadura de los ríos Guadiana y Guadalquivir, se basa en los datos del informe del CEDEX de 1991, sobre la dinámica sedimentaria del tramo exterior del canal del puerto de Huelva.

Para ello se ha dividido en dos apartados, uno más general correspondiente a una descripción de los vientos en la costa sur-atlántica y otro particular en el que se describen los vientos en la costa de la Bahía de Huelva.

3.2.1 Vientos en la costa Sur-Atlántica

Los vientos de Levante de gran intensidad que atraviesan el Estrecho, alcanzan las costas Cádiz y cuando la intensidad lo permite se transforman en surestes, aunque en algunos casos el efecto del Levante en el Estrecho no se hace sentir en estas costas.

El viento de Poniente, presenta características diametralmente opuestas al viento de Levante. Alcanza la costa sin mucha alteración, siendo de carácter húmedo en invierno cuando participa del sudoeste y secos cuando participa del noroeste.

Los vientos del noroeste que alcanzan las costas giran al oeste al alcanzar el Cabo de San Vicente, transformándose en Poniente. Aunque su efecto no se siente hasta alcanzar las costas de Cádiz.

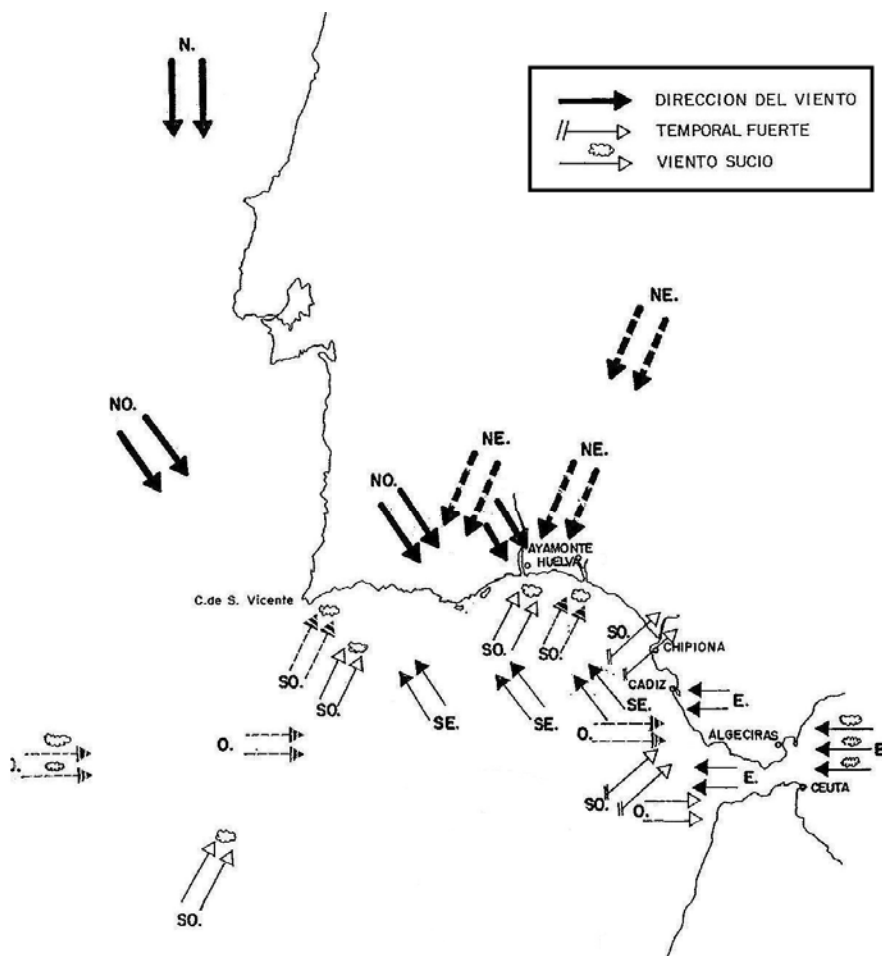


Figura 3.7: Vientos en la costa sur atlántica peninsular (CEDEX 1991)

3.2.2 Vientos en la costa de la Bahía de Huelva

Con el fin de describir el viento en la zona de estudio, se consideran los datos facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional, tomados de la estación meteorológica situada en Huelva, que recoge el informe del CEDEX de 1991.

Las direcciones predominantes de viento y su frecuencia media anual son:

Dirección	Frecuencia media anual
Noroeste	24,3%
Sureste	20,8%
Suroeste	16%
Noreste	15%

A su vez, como se aprecia en la siguiente figura, las velocidades de viento se dividieron en cuatro escalones: 0-5 km/h, 6-28 km/h, 29-61 km/h y mayores de 61 km/h. Siendo la velocidad reinante la comprendida en el intervalo 6-28 km/h, dando porcentajes entre el 58'9%, registrado en 1962 y el 88'9%, registrado en 1952. La velocidad dominante del viento, dio valores superiores a 61 km/h, habiéndose dado únicamente en cuatro años: 1950, 1951, 1958 y 1969. Registrándose la mayor frecuencia de presentación en 1969 con el 0,2%.

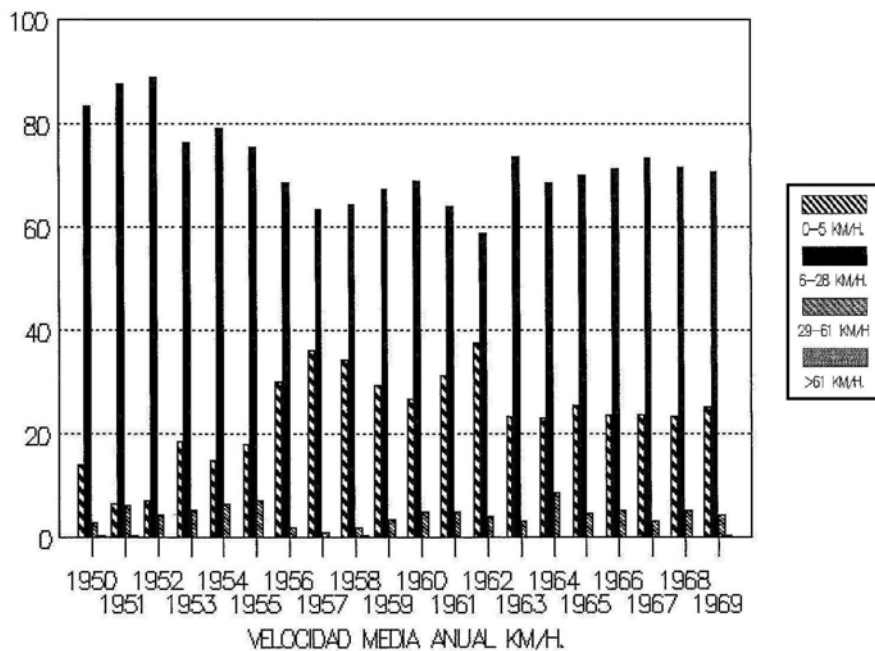


Figura 6.8: Velocidades del viento en Huelva (Instituto Nacional de Meteorología, CEDEX 1991)

3.3 CORRIENTES

Los tipos de corrientes más importantes en las costas de Huelva, estudiadas en los diferentes informes del CEDEX (1001), son las siguientes:

- Corrientes generales
- Corrientes locales inducidas por viento

- Corrientes inducidas por el oleaje
- Corrientes de marea

3.3.1 Corrientes generales

La corriente general frente a las costas de Huelva, es la derivada de la general del Golfo de la rama conocida como Portuguesa, que al llegar a la altura del cabo San Vicente se bifurca en esta onubense y en la canaria. Recorre las costas en dirección al estrecho de Gibraltar con una velocidad media de unos 3,2 kilómetros a la hora y se hace sentir a una cierta distancia de la costa.

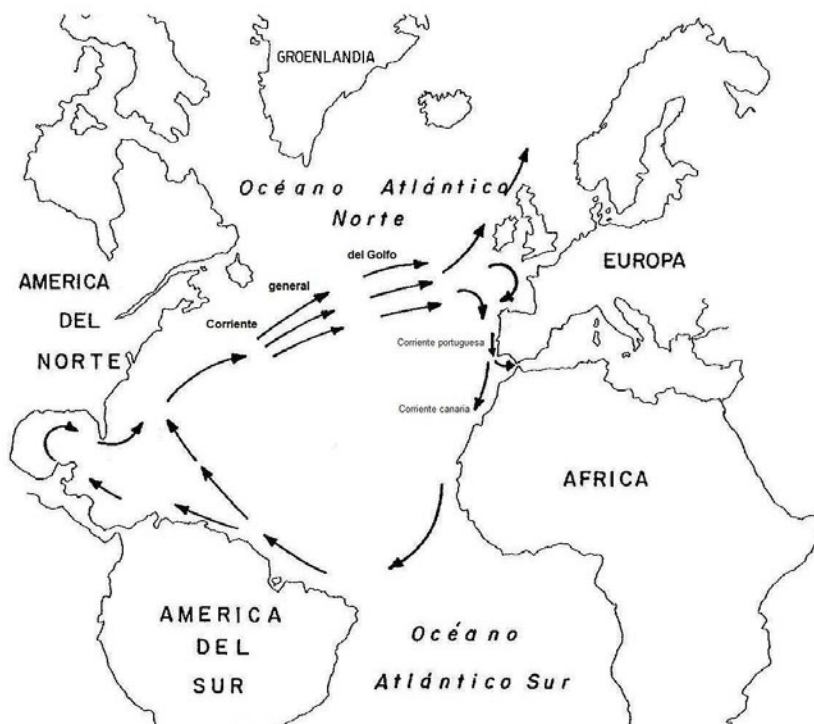


Figura 6.9: Esquema de la corriente general del Golfo

3.3.2 Corrientes locales inducidas por el viento

Los vientos locales modifican en gran medida las corrientes actuantes en la zona de estudio. Por ello los vientos suroestes son los que acercan la corriente general llenante del estrecho, anulando en gran medida a la corriente general del Golfo, y dando una componente oeste-este que recorre todo el litoral.

Así los vientos del noroeste y noreste alejan la corriente general de las costas, produciendo corrientes litorales oeste-este y este-oeste, siendo esta última de muy baja intensidad. Por último, los vientos del sur-este acercan a la costa la corriente general disminuyéndola en intensidad.

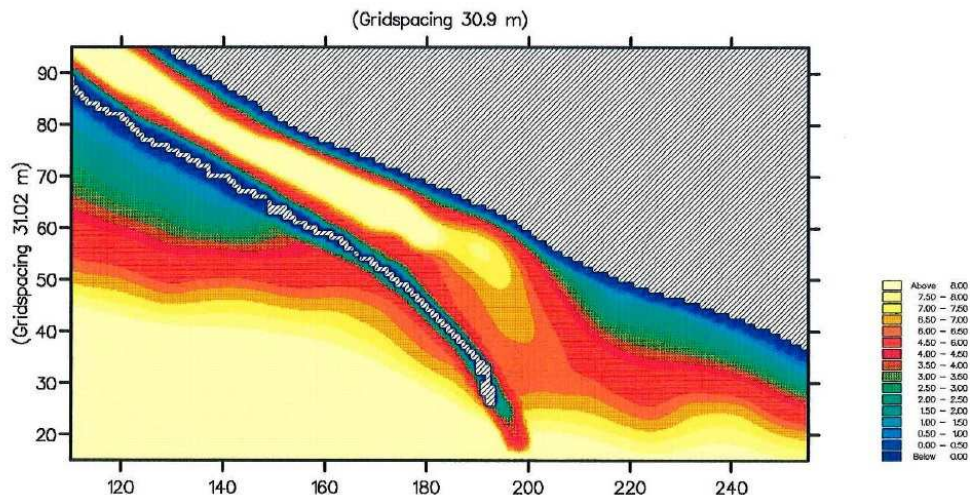
3.3.3 Corrientes inducidas por el oleaje

La acción continuada del oleaje sobre la costa da como resultado unas corrientes inducidas, cuya resultante es la composición de una corriente normal a la costa y otra paralela a ésta.

Las corrientes paralelas inducidas por el oleaje son las responsables del oleaje y del transporte sólido litoral. La corriente paralela o longitudinal es mucho más importante que la transversal o normal a la costa, pues es la que, en gran medida, configura la dinámica litoral de la zona, como se refleja en el apartado correspondiente al transporte sólido litoral.

3.3.4 Corrientes de marea

La onda de marea se propaga desde las costas africanas hacia la Península Ibérica, originando, por tanto, una corriente de marea de levante a poniente en el flujo y de poniente a levante en el reflujo, estando ambas corrientes influidas por la corriente general y la inducida por el viento. Pero las corrientes de marea se hacen más sensibles y su influencia se deja notar con mayor intensidad en la retirada y penetración de la multitud de canales mareales que posee el litoral en estudio. Como ejemplo se adjunta la siguiente figura, correspondiente al informe del CEDEX de 1991, de la ría de Huelva.



1990/04/16 22:00:00

CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas		DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y COSTAS		Módulo 21
		DINAMICA LITORAL		
Thu Jun 6 1991	family: pum	ESTUDIO HIDRODINAMICO DE MAREA		dvrg. no.
CEPYC-EL	name: mindun	Canal de Huelva		
		DNDA DE MAREA		

Figura 3.10: Estudio hidrodinámico de marea en el canal de Huelva (CEDEX 1991)

3.4 VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR

Las variaciones esperables que se pueden producir sobre el nivel medio del mar en las costas de Huelva pueden ser debidas principalmente a:

- Marea astronómica



- Marea meteorológica de presión
- Variaciones debidas al viento
- Variaciones debidas a la incidencia del oleaje
- Cambio climático

La primera de ellas es cíclica y se encuentra producida por la atracción de la Luna principalmente, Sol y, en menor medida, los planetas. Se ha estudiado en todos los informes realizados por el CEDEX (1991, 2003) sobre este tema.

Las mareas meteorológicas de presión son debidas al gradiente de presión atmosférica sobre la superficie del mar: Con bajas presiones, Borrascas, la superficie media del mar se eleva aproximadamente 1 milímetro por cada milibar que exceda o decrezca del nivel medio de presión, 1003 mb o 760 mm, como hace el anuario de mareas español del Instituto Hidrográfico de la Marina como corrección de las mareas astronómicas.

Las variaciones debidas al viento están íntimamente ligadas a la acción continuada del viento sobre la lámina de agua; por lo que su intensidad y grado está en consonancia con los valores medidos de viento.

Las variaciones del nivel medio del mar debido al oleaje tiene una correspondencia unívoca con la acción de éste sobre la costa: Siendo la elevación media el setup, y la elevación máxima el runup o remonte, dependiendo de forma directa del número de Iribarren y de la pendiente media de la playa.

Las variaciones del nivel del mar debidas al cambio climático pueden considerarse permanentes y en aumento anual; siendo éste diferente dependiendo de los autores: con un valor menor en torno a 0,25 mm/año

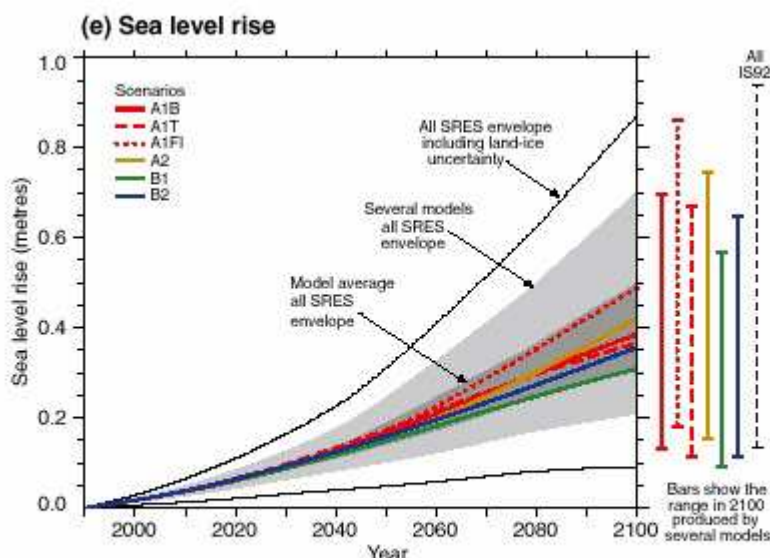


Figura 6.11: Tendencia en la evolución del nivel del mar debido al cambio climático (fuente: Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, Universidad de Cantabria)

A continuación se presentan los resultados de los datos de la variación del nivel medio del mar debido a la marea astronómica, tomado de los informes precedentes del CEDEX (1991, 2003).

3.4.1 Marea astronómica en las costas de Huelva

Como se sabe el fenómeno de las mareas astronómicas se produce por el movimiento de grandes masas de agua de mar bajo la fuerza combinada del Sol y la Luna, e insignificamente los planetas del sistema solar, unido a la rotación de la tierra. Las oscilaciones verticales de la marea se propagan en forma de onda, onda de marea. Dicha onda de marea puede considerarse como resultante de cuatro ondas de marea parciales: lunar semidiurna, solar semidiurna, lunar diurna y solar diurna.

Huelva, al igual que el resto de la costa atlántica peninsular, se ve afectada por una marea tipo semidiurna, al tener mayor influencia las ondas de marea lunar y solar semidiurna.

La pleamar y bajamar viva equinoccial producen una carrera de marea máxima en Huelva de 3,70 metros.

Las elevaciones del nivel del mar se obtienen de los datos de marea reflejados en el informe del CEDEX 2003, en el que se considera el mareógrafo más próximo a la zona de estudio y perteneciente a red de mareógrafos REDMAR de Puertos del Estado, situado en Huelva. Los valores obtenidos en este mareógrafo incluyen la marea astronómica y el residuo meteorológico.

El mareógrafo de Huelva está situado en el puerto Deportivo de Mazagón desde septiembre de 1996, como se aprecia en la siguiente figura. Inicialmente estuvo situado en el Muelle del Vigía desde julio de 1992 hasta mayo de 1995 en que este muelle fue demolido. El sensor utilizado es de ultrasonidos SONAR y su posición es $37^{\circ} 8' N$ Y $6^{\circ} 49' 56'' W$.

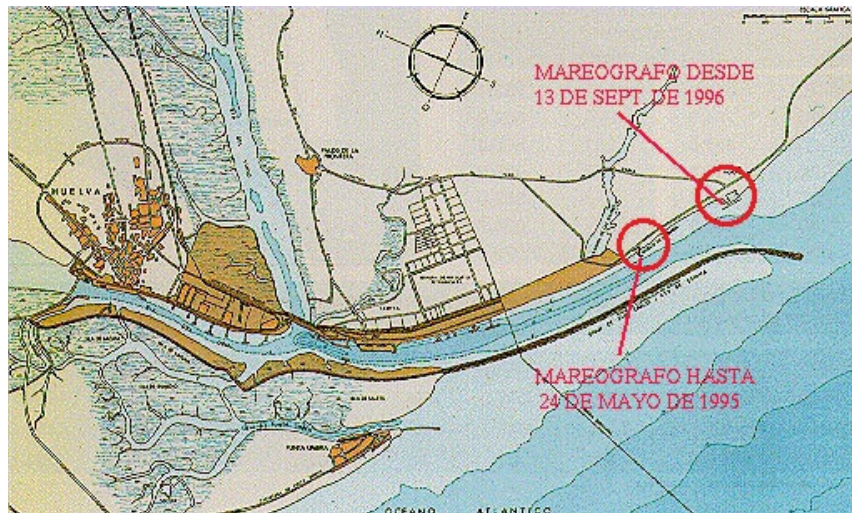


Figura 3.12: Situación del mareógrafo de Huelva de REDMAR (fuente: Puertos del Estado)

Los niveles medios mensuales históricos y los niveles medios anuales registrados en el mareógrafo del puerto de Mazagón hasta diciembre de 2001, se recogen en la figura adjunta. En donde se aprecia que el mínimo nivel medio mensual corresponde a febrero de 1999, siendo de 184 centímetros, y el máximo a diciembre de 1997, de 218 centímetros. El mínimo nivel medio anual corresponde al año 1999, siendo de 197 centímetros, y el máximo a 1997, de 206 centímetros.



CEDEX

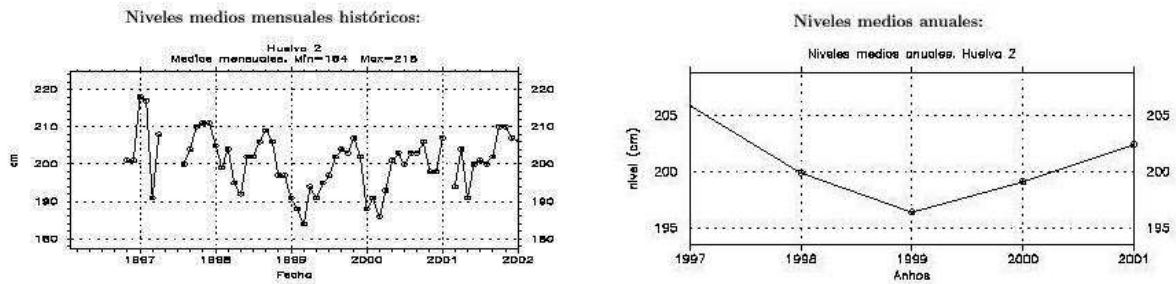


Figura 3.13: Niveles medios mensuales históricos y anuales registrados en el mareógrafo de Huelva (fuente: Puertos del Estado)

En la tabla adjunta se muestran los máximos y mínimos extremos anuales recogidos en el mareógrafo de Huelva entre los años 1992 y 2001; unos correspondientes a su emplazamiento actual y otros al antiguo.

NIVELES DEL MAR MEDIDO EN EL MAREÓGRAFO DE HUELVA (1992 – 2001)				
Año	Máximo	Fecha	Mínimo	Fecha
1992-El Vigía	4,12	28 Agosto	0,01	29 Agosto
1993-El Vigía	4,37	16 Octubre	0,04	9 Febrero
1994-El Vigía	4,23	28 Febrero	0,03	28 Marzo
1995-El Vigía	3,81	16 Abril	0,05	2 Enero
1996-Mazagón	3,95	22 Diciembre	0,13	27 Septiembre
1997-Mazagón	4,13	10 Marzo	0,02	9 Febrero
1998-Mazagón	4,19	29 Marzo	0,01	26 Abril
1999-Mazagón	4,02	25 Octubre	-0,02	17 Abril
2000-Mazagón	3,94	1 Agosto	0,12	22 Enero
2001-Mazagón	4,12	18 Septiembre	-0,08	8 Abril

La máxima altura de marea registrada en el mareógrafo de El Vigía ha sido de 4,37 metros y la mínima de 0,01 metros. Esto hace que la máxima carrera de marea posible, sobre la base de los datos anteriores, sería de 4,36 metros. En el emplazamiento actual del mareógrafo, puerto de Mazagón, la marea máxima ha sido 4,19 metros y la mínima de -0,08 metros, por tanto, la máxima carrera de marea posible sería de 4,27 metros. Considerada anualmente, la máxima carrera de marea posible oscilaría de 4,33 a 3,76 metros en El Vigía y de 4,20 metros a 3,82 metros en Mazagón. Todos estos valores se pueden considerar valores de máximos de la carrera de marea diaria que se puede registrar en Huelva.

4. DINÁMICA LITORAL

Este capítulo, dedicado a la actividad sedimentaria y evolutiva de la costa onubense debida a los agentes climáticos, muy especialmente el oleaje, se basa en los datos que proporcionan los diferentes estudios sobre dinámica litoral que se han realizado en estas costas, como así se ha expresado en el capítulo primero, solamente actualizando los datos imprescindibles para caracterizar debidamente la dinámica litoral de la costa de Huelva, que es especialmente activa como todos los trabajos han puesto de manifiesto; ello indica que tanto los aportes como los incrementos y erosiones en la costa son fuertes y rápidos, lo que les confiere una característica especial a tener siempre en cuenta.

4.1 SEDIMENTOS

El estudio de los sedimentos que conforman la costa de Huelva, los que continuamente fluyen y salen de ella, se realiza en dos vertientes: La primera de ellas es identificar los focos y flujos de entrada, salida y depósito del material sedimentario, que básicamente son arenas. La segunda es conocer las características de estos sedimentos, principalmente arenas, para ello se utilizan los datos que se han ido recogiendo en las diversas campañas que se han efectuado en estas costas; recogidos en los informes y trabajos que se referencian en el capítulo primero de este informe técnico.

4.1.1 Fuentes y sumideros

El balance sedimentario de los sedimentos presentes en la dinámica litoral se realiza en sus tres vertientes: Fuentes sedimentarias, sumideros de sedimentos, y depósitos sedimentarios para formar o incrementar las formas morfológicas existentes en la costa, excluyendo la erosión o avance de las playas.

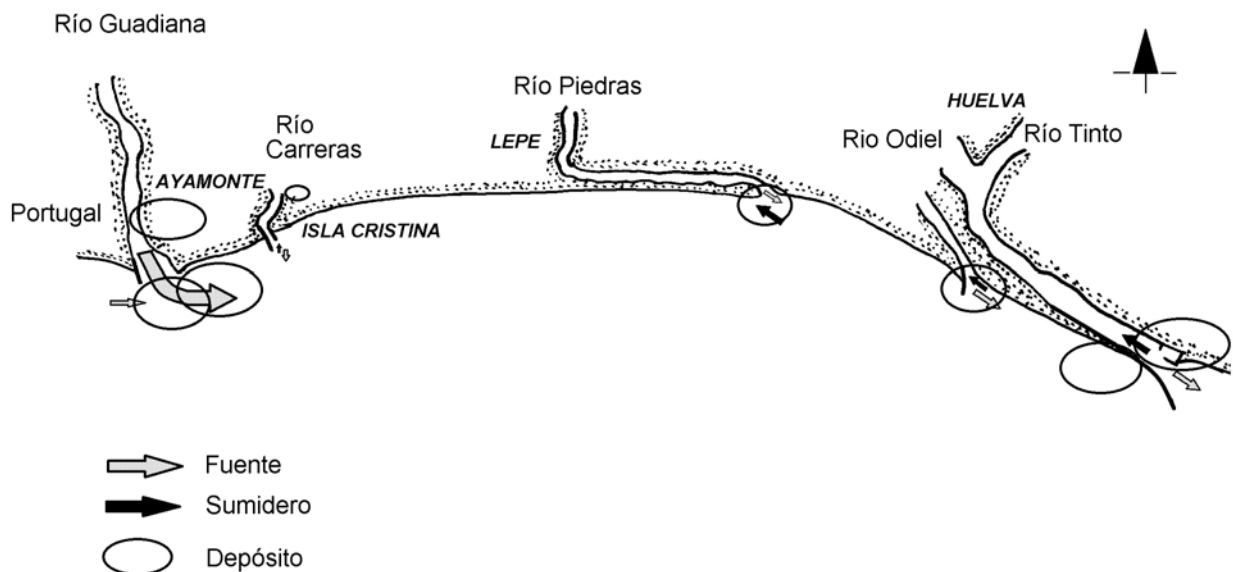


Figura 4.1: Fuentes y sumideros desde el río Guadiana hasta Huelva

Haciendo el recorrido de poniente a levante, se halla en el inicio del tramo la fuente de sedimentos más importante: El río Guadiana, cuyo cálculo de aportes (CEDEX 2003) se incluye aparte en el siguiente apartado. También debe considerarse el material que proveniente de las costas portuguesas atraviesa el dique de encauzamiento de la desembocadura; estos aportes son especialmente en suspensión y en la plataforma del delta sumergido, siendo de escasa importancia el material que se incorpora a la dinámica general de la costa onubense. Este dato se comprueba al observar el pequeño espigón construido en la playa portuguesa de Monte Gordo que no ha retenido material ni en uno ni en otro lado. La mayoría del material que se mueve por suspensión y en la plataforma sumergida va a formar el delta sumergido del río Guadiana.

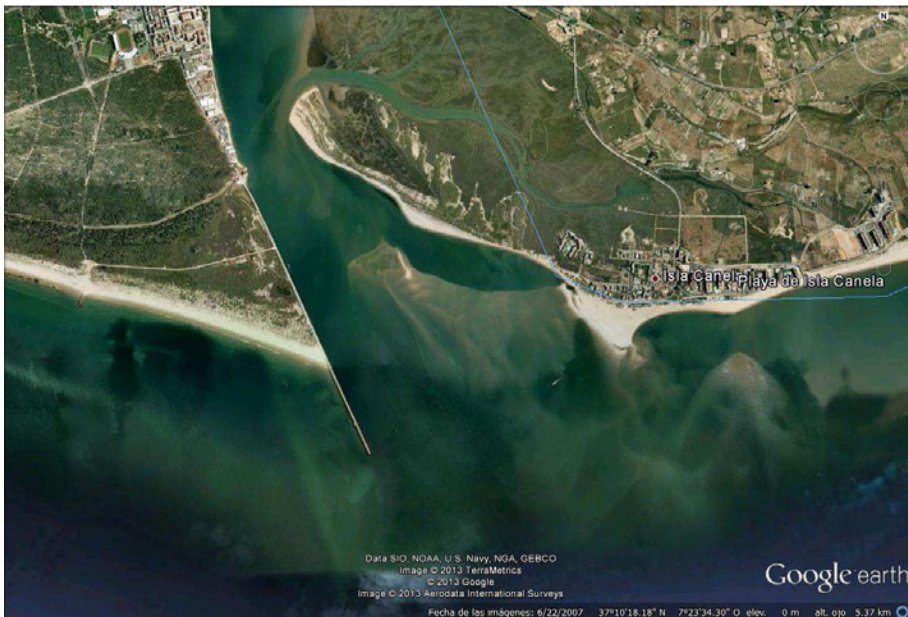


Figura 4.2: Desembocadura del río Guadiana donde se aprecia el sedimento que está configurando el delta sumergido (fuente: Google Earth - Aerodata International Surveys)

En la propia desembocadura del río Guadiana se pueden observar dos depósitos importantes de sedimentos: el primero son las marismas del río que van colmatándose; el segundo y mucho más importante, es el crecimiento del delta sumergido que absorbe gran cantidad de sedimento.

La desembocadura del río Carreras, puerto de Isla Cristina tiene poco poder como fuente sedimentaria, alimentando especialmente los depósitos de las marismas que se hallan a levante del Puerto. Debe tenerse en cuenta que todo este tramo de costa, incluida la desembocadura del río Carreras se encuentra en el área de influencia del delta sumergido del Guadiana.

Tras Isla Cristina, la playa de la Antilla se extiende hasta la punta de la Flecha del Rompido, no existiendo en ella aportes, sumideros ni depósitos de sedimento, salvo la propia playa. En la punta de la Flecha se encuentra la desembocadura del río Piedras cuyo aporte sedimentario debe ser escaso; teniendo que alimentar los depósitos de las pequeñas marismas que posee. Lo que si resulta de importancia son los depósitos que han ido formándose en la punta cuyo crecimiento parece haberse frenado al menos desde 2004, debido a giro que debe realizar para seguir la costa que en ese punto rola (HIDMA 2000). Sin embargo, lo que sí se aprecia es que la punta de la flecha sumergida está aumentando su depósito, absorbiendo ésta gran cantidad de sedimento.



Figura 4.3: Punta de la Flecha del Rompido y depósitos de sedimento (fuente: Google Earth – Digital Globe)

Casi sin tiempo de transición, la siguiente flecha, de Punta Umbría y el canal de desagüe del río forman fuente, sumidero y depósito de sedimentos. El dique curvo construido en 1984 no ha servido para detener el desarrollo de la flecha, que se encuentra en forma de depósitos sumergidos tras él; delineando lo que es el futuro canal de la flecha.



Figura 4.4: Punta de la Flecha de Punta Umbría y depósitos de sedimento (fuente: Google Earth – Digital Globe)

A continuación, dentro del mismo sistema de flechas asociadas a la desembocadura de los ríos Odiel y Tinto, se encuentra el canal del Puerto de Huelva delimitado por el dique Juan Carlos I construido sobre la antigua flecha de Huelva. Este canal ha sido históricamente, y lo es hoy en día, una trampa de arena mantenida gracias a los dragados que deben efectuarse en la canal para mantenerla expedita para el movimiento de barcos del Puerto de Huelva. El sedimento

proviene tanto del flujo sólido de poniente como del material que proviene de levante, como hace patente los depósitos tan importantes de sedimento apoyados en el dique del puerto de Mazagón, que en la actualidad lo rebasan.

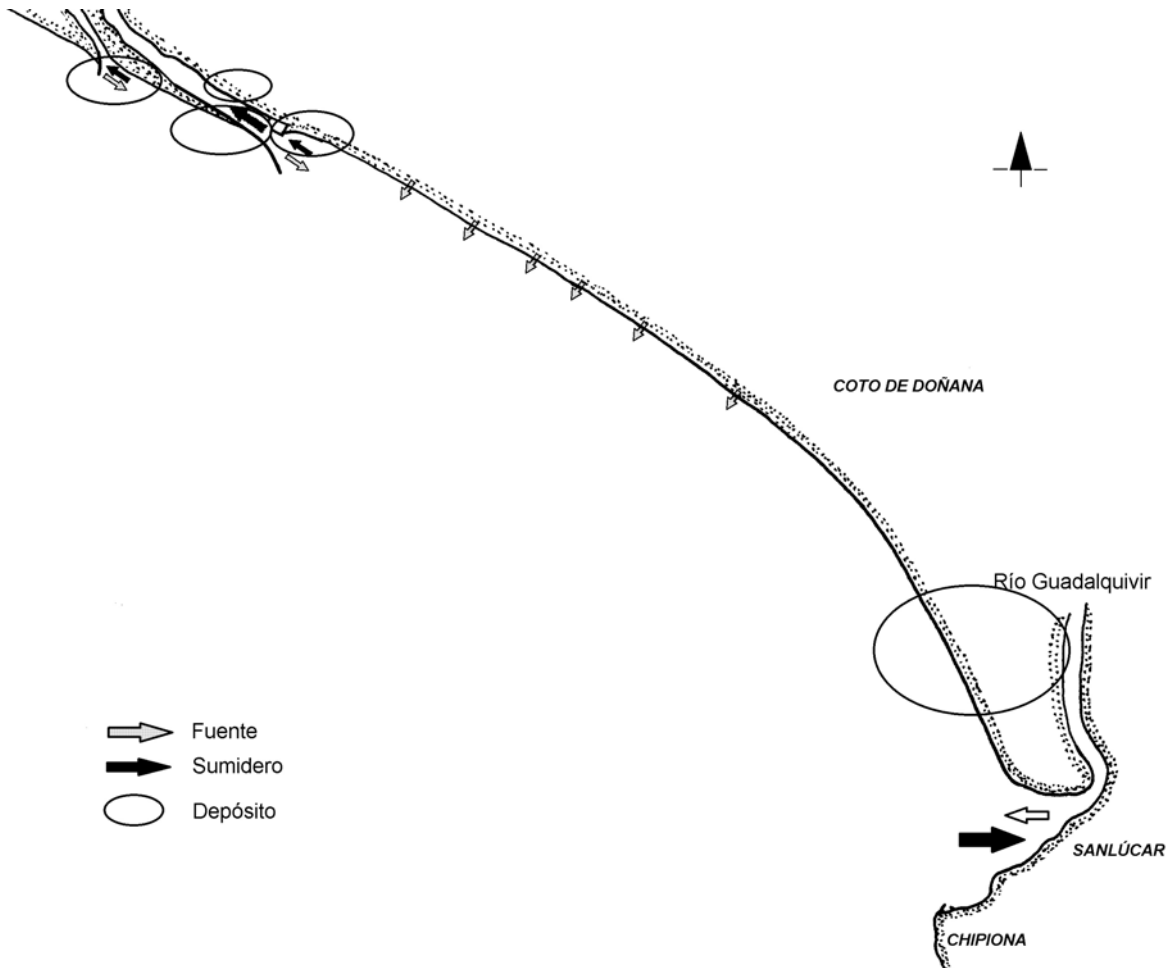


Figura 4.5: Fuentes y sumideros desde Huelva hasta la desembocadura del río Guadalquivir

La playa de Castilla es una continua fuente de sedimentos, provocada por la erosión de los acantilados arenosos que la delimitan, hasta llegar a las playas de Matalascañas y del Coto donde la actividad eólica se hace sentir con cierta intensidad formando unas cadenas dunares paralelas a la línea de orilla que se internan en el Parque Nacional de Doñana.

Finalmente, el sedimento que alcanza la punta de la flecha de Doñana cae en la trampa que supone el canal de acceso al puerto de Sevilla del río Guadalquivir.

4.1.2 Aportes del río Gadiana

El estudio de los aportes sólidos del río Gadiana se ha realizado utilizando dos fuentes, Enríquez (2000) y Morales (1994, 1997), y los datos que éstas aportan.

El estudio realizado por la empresa HIDTMA, Enríquez (2000), analiza primeramente los datos aportados por los estudios de Morales (1994) y posteriormente haciendo referencia a un estudio suyo sobre Isla Canela, Enríquez (1997) y usando los datos de transporte longitudinal afirma finalmente: "... se ha adoptado el valor de 200-300.000 m³/año como cifra más fiable

para la estimación de los aportes netos de material arenoso del río Guadiana a las playas y bajos que se disponen alrededor de su desembocadura... ”.

El estudio de Morales (1994) solamente da valores de aportes fluviales del Río, pudiéndose leer: “... La aportación fluvial media anual es de 4919'51 Hm³, para la serie de años comprendida entre 1946-47 y 1989-90. Este valor es poco significativo, puesto que existe una gran irregularidad en los aportes, que hace posible que en años consecutivos se pase de 13880'67 Hm³ (aportación máxima de la serie) a tan solo 2280'80 Hm³, con una reducción del 80 %. Por otra parte hay que tener en cuenta que la serie incluye años en los que el caudal se ha visto fuertemente disminuido por el represamiento a que se ha sometido al río durante décadas pasadas... ”.

El estudio de Morales de 1997 es más conciso respecto a los aportes sólidos del Río, transcribiéndose a continuación todo el párrafo que dedica a este aspecto: “... La mayor parte del aporte arenoso tiene lugar en forma puntual. Esto implica que, en periodos de descarga media, la marea puede retrabajar y transportar hacia el mar la totalidad de los sedimentos aportados por el río. Sin embargo en los momentos de descarga máxima instantánea, gran parte del sedimento arenoso puede quedar en el interior del estuario. No existen datos sobre la aportación sólida del Guadiana, aunque existe una estimación de la aportación para los últimos 44 años (57'90 x 10⁴m³/año de aporte en suspensión y 43'96 x 10⁴m³/año de aportes en carga de fondo (Morales, 1993). Estos datos son exclusivamente orientativos, ya que la cuenca de drenaje del Río Guadiana ha sufrido un gran represamiento desde la década de los 60, con más de 40 embalses que regulan alrededor del 75 % de la superficie de drenaje. Este hecho ha debido suponer una importante disminución en el volumen de sedimento aportado por el río al estuario... ”.

Con los datos que aporta Morales (1997) puede hacerse una estimación aproximada de los aportes, suponiéndose que de los 44 años estimados por Morales (1993); 14 no han tenido reducción de la superficie de drenaje y el resto de los 30 años el aporte ha sido de únicamente el 25 % de la superficie de drenaje, entonces:

$$\frac{14 \times A + 0'25 \times 30 \times A}{44} = \text{aportación anual}$$

Siendo A la aportación media anual sin reducción de la superficie de drenaje. La aportación anual es:

<i>En suspensión</i>	<i>57'90 x 10⁴m³/año</i>
<i>En arrastre</i>	<i>43'96 x 10⁴m³/año</i>

Considerando solamente el 25 % de la superficie de drenaje. La aportación media anual sería:

<i>En suspensión</i>	<i>29'53 x 10⁴m³/año</i>
<i>En arrastre</i>	<i>22'42 x 10⁴m³/año</i>

Estos datos están acordes con los que manejó HIDTMA en sus trabajos, ya que si se supone que solamente una pequeña cantidad de material en suspensión se incorpora al transporte longitudinal de sedimentos, los valores obtenidos estarían dentro de la horquilla apuntada por HIDTMA. Aunque, según se dice en su último trabajo (HIDTMA 2011), los aportes sedimentarios del río Guadiana, en la actualidad, habrían disminuido hasta un valor aproximado entre 100.000 y 150.000 m³/año.



4.1.3 Fuentes de datos de las características de los sedimentos

No existen muchas fuentes que den los datos y características granulométricas de las playas: El PIDU da las características del material, clasificándolo por su tipo mineralógico, color y el tamaño lo indica por su tipo –arena fina, media gruesa...- pero no da tamaños específicos. Para hallarlos hay que acudir a campañas de toma de datos. Para el frente costero de Huelva existen tres campañas de tomas de datos llevadas a cabo: dos en 1991 y una más en 2003, que contienen los informes del CEDEX de esos años.

Prácticamente, todas estas campañas completan la costa con el hueco de la playa de Castilla. Estos datos son los que se muestran a continuación.

4.1.4 Características de los sedimentos: Tramo Guadiana-Flecha del Rompido

El estudio de los sedimentos que forman el estuario del río Guadiana y zonas próximas de influencia hasta la Flecha del Rompido requirió de una campaña de toma de muestras de sedimento a lo largo de este tramo de costa, junto al tramo de la costa portuguesa influenciada, que se realizó en Febrero de 2003 (CEDEX 2003). Así pues este apartado está dedicado al análisis de estas muestras y estudio de los resultados.

El criterio seguido a la hora de planificar la campaña de toma de muestras -realizada entre los días 10 y 12 de febrero de 2003- fue extenderse desde los primeros cordones litorales de la costa del Algarve portugués, playa de Manta Rota, hasta el inicio de la flecha del Rompido, playa de Nueva Umbría, con una separación tal en los puntos de toma de muestras que estuviesen caracterizadas todos, o la gran mayoría de, los tipos de sedimentos que se podía encontrar en el estrán de las playas. El total de muestras tomadas fue de 16:

- 5 muestras en el litoral portugués
- 10 muestras en el litoral español
- 1 muestra en los bajos frente a Isla Canela

Las muestras tomadas se analizaron en los laboratorios del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, siguiendo para su análisis granulométrico la norma tecnológica NLT-104/91, y usando los tamices de la serie ASTM..

Con posterioridad se hizo el análisis estadístico de los resultados de las muestras granulométricas que se ha realizado utilizando las unidades phi (ϕ) que vienen definidas como:

$$\phi = -\log_2 D(mm)$$

Siendo: D, el diámetro. Con estas unidades, la desviación típica, el sesgo y la curtosis de la muestra vienen definidas por (Folk, 1974):

Desviación típica:

$$\sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6}$$

Sesgo:

$$\alpha_{\phi} = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Curtosis:



CEDEX

$$\beta = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2'44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Los resultados que se desprende de este análisis se resumen en las tablas siguientes:

TABLA 4.1: Datos estadísticos de las muestras de sedimento

Nº	Playa	ϕ_{50}	ϕ_{95}	ϕ_{84}	ϕ_{75}	ϕ_{25}	ϕ_{16}	ϕ_5
7	Manta Rota (Portugal)	0'90	3'30	2'35	1'75	-0'20	-0'55	-1'50
10	Alagoa (Portugal)	0'10	1'30	0'85	0'60	-0'40	-0'60	-1'00
13	Monte Gordo (Portugal)	1'50	2'30	2'00	1'90	1'20	1'10	0'80
20	V.R. de Santo Antonio (oeste)	1'20	2'65	2'05	1'85	0'60	0'20	-0'30
28	V.R. de Santo Antonio	1'25	2'65	2'05	1'85	0'70	0'40	-0'10
30	Canela (extremo oeste)	1'00	3'65	2'65	2'20	0'00	-0'60	-1'65
39	Canela	1'25	1'85	1'60	1'50	1'00	0'90	0'30
40	Canela (este)	0'15	2'10	1'35	1'00	-0'60	-1'00	-1'80
82	Canela (bajos)	1'50	2'25	2'00	1'90	1'20	1'05	0'70
83	Haraganes	1'50	2'05	1'80	1'70	1'20	1'15	1'00
84	Punta del Caimán	1'45	2'30	2'00	1'85	1'10	1'00	0'55
85	Verdigón	1'85	2'50	2'20	2'10	1'50	1'30	1'10
86	Hoyo	1'95	2'55	2'30	2'15	1,65	1,50	1,25
87	Isla Antilla	0'65	2'40	1'75	1'40	-0'10	-0'45	-1'10
11	Antilla	1'65	2'45	2'10	2'00	1'30	1'15	0'80
8	Nueva Umbría	-0'80	2'00	1'00	0'50	-1'90	-2'50	-3'60

El tratamiento estadístico de las muestras con los resultados expuestos en la tabla anterior dan unos valores para los momentos de la muestra que se insertan en la tabla siguiente.

TABLA 4.2: Momentos de las muestras de sedimento

Nº	Playa	ϕ_{50}	$D_{50}(\text{mm})$	σ_ϕ	α_ϕ	β_ϕ
7	Manta Rota (Portugal)	0'90	0'54	1'53	0'00	1'00
10	Alagoa (Portugal)	0'10	0'93	0'75	0'35	0'12
13	Monte Gordo (Portugal)	1'50	0'35	0'47	0'09	0'88
20	V.R. de Santo Antonio (oeste)	1'20	0'44	0'95	-0'05	0'97
28	V.R. de Santo Antonio	1'25	0'42	0'87	-0'01	0'98
30	Canela (extremo oeste)	1'00	0'50	1'70	0'01	0'99
39	Canela	1'25	0'42	0'43	-0'11	1'27
40	Canela (este)	0'15	0'90	1'23	0'01	1'00
82	Canela (bajos)	1'50	0'35	0'50	0'01	0'91
83	Haraganes	1'50	0'35	0'34	0'01	0'86
84	Punta del Caimán	1'45	0'37	0'54	0'04	0'96
85	Verdigón	1'85	0'28	0'46	0'15	0'96
86	Hoyo	1'95	0'26	0'42	-0'10	1'07
87	Isla Antilla	0'65	0'64	1'13	0'00	0'96
11	Antilla	1'65	0'32	0'51	0'51	0'97
8	Nueva Umbría	-0'80	1'74	1'81	0'02	0'96

Con estos valores de los momentos, la clasificación de las diversas muestras de sedimento es la que se muestra en la tabla siguiente, siguiendo siempre la clasificación ASTM:



Nº	Playa	Tipo de sedimento
7	Manta Rota (Portugal)	Arena media, pobremente clasificada, simétrica y mesocúrtica
10	Alagoa (Portugal)	Arena media, moderadamente clasificada, desviada a tamaños finos y muy platocúrtica
13	Monte Gordo (Portugal)	Arena fina, bien clasificada, casi simétrica y mesocúrtica
20	V.R. de Santo Antonio (oeste)	Arena fina, moderadamente clasificada, casi simétrica y mesocúrtica
28	V.R. de Santo Antonio	Arena fina, moderadamente clasificada, simétrica y mesocúrtica
30	Canela (extremo oeste)	Arena media, pobremente clasificada, simétrica y mesocúrtica
39	Canela	Arena fina, bien clasificada, desviada a gruesos y leptocúrtica
40	Canela (este)	Arena media, pobremente clasificada, simétrica y mesocúrtica
82	Canela (bajos)	Arena fina, bien clasificada, simétrica y mesocúrtica
83	Haraganes	Arena fina, bien clasificada, simétrica y platocúrtica
84	Punta del Caimán	Arena fina, moderadamente bien clasificada, simétrica y mesocúrtica
85	Verdigón	Arena fina, bien clasificada, desviada a tamaños finos y mesocúrtica
86	Hoyo	Arena fina, bien clasificada, simétrica y mesocúrtica
87	Isla Antilla	Arena media, pobremente clasificada, simétrica y mesocúrtica
11	Antilla	Arena fina, moderadamente bien clasificada, simétrica y mesocúrtica
8	Nueva Umbría	Arena media, pobremente clasificada, simétrica y mesocúrtica

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE ARENA (FEBRERO, 2003)

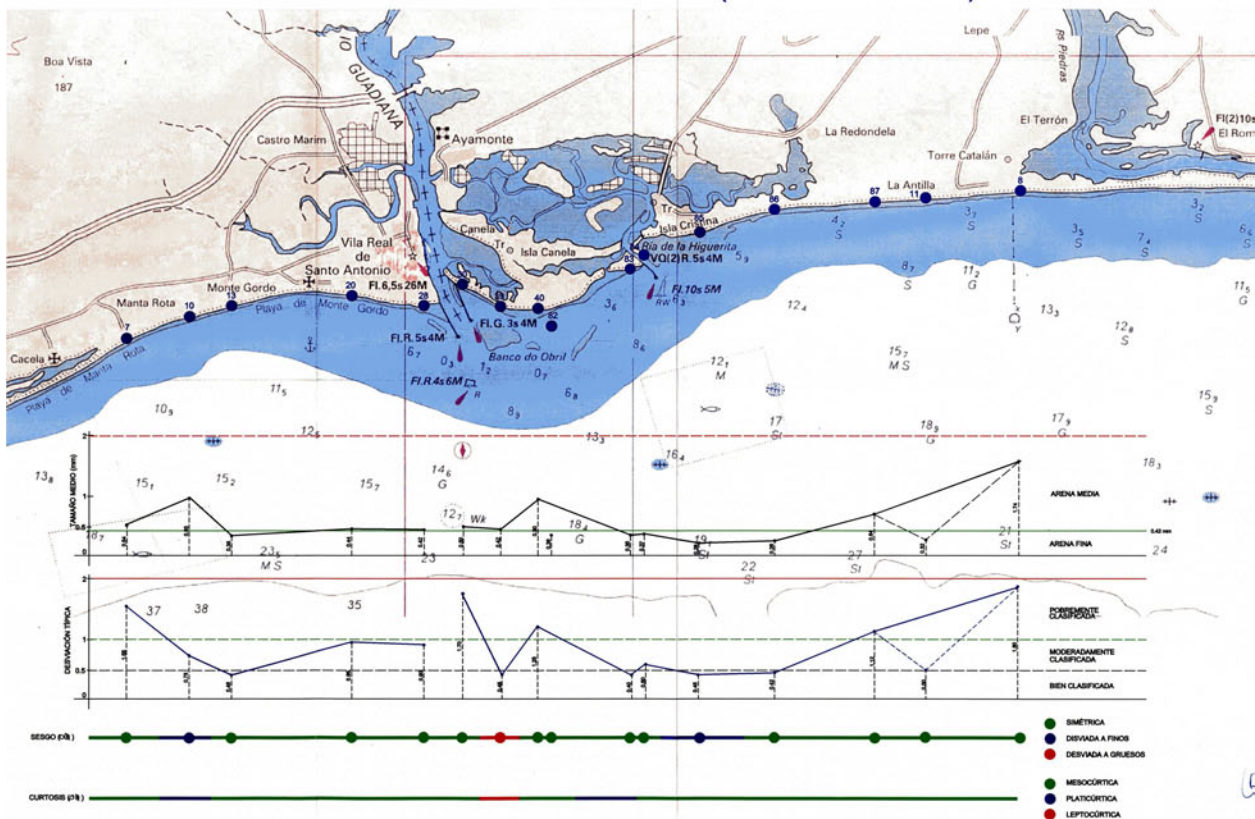


Figura 4.6: Situación de toma y características de las muestras de sedimento obtenidas en la campaña del 10 al 12 de febrero de 2003

4.1.5 Características de los sedimentos: Tramo Punta Umbría

La caracterización de los sedimentos en torno a la playa se realizó mediante la toma de muestras en el estrán de la playa en una campaña realizada en abril de 1989. También se tomaron muestras de sedimento en suspensión mediante botella.

La localización de las muestras y el resultado del análisis granulométrico se muestran en las figuras siguientes. Para las muestras de sedimento en suspensión se muestra el resultado del análisis en gramos por litro.

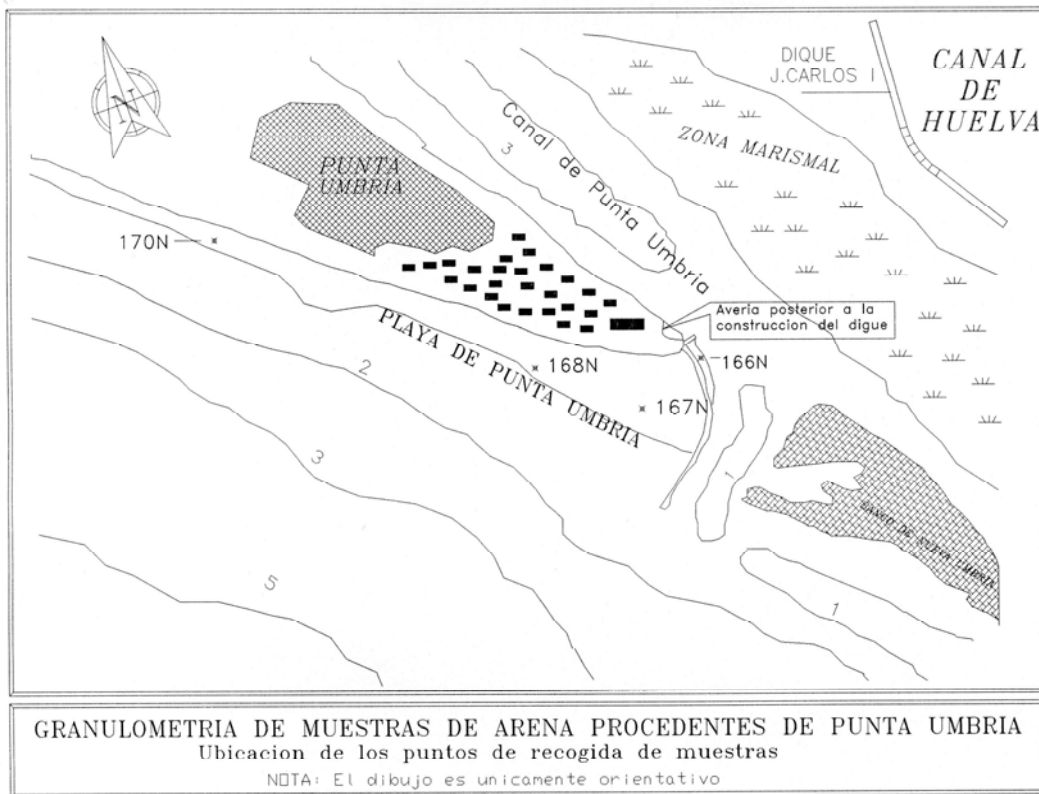


Figura 4.7: Localización de la toma de muestras en el estrán de la playa de Punta Umbría en abril de 1989 (CEDEX 1991)

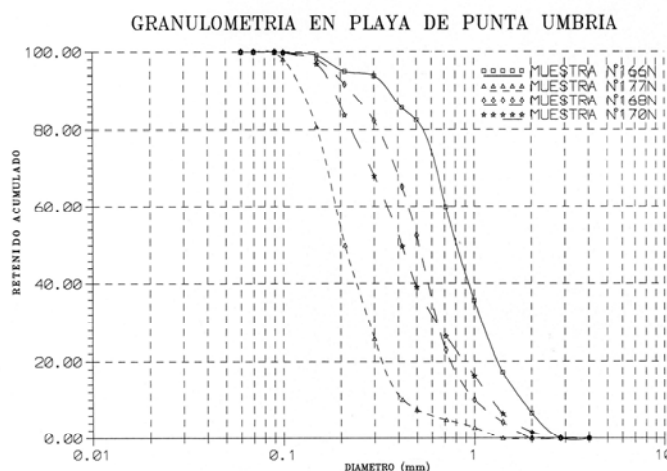


Figura 4.8: Curvas granulométricas de las muestras en el estrán de la playa de Punta Umbría en abril de 1989 (CEDEX 1991)



CEDEX

P. DE P^{TA} UMBRIA

MUESTRA	Md		M ϕ		$\sigma - \phi$	$\sigma \phi$	moda		TIPO
	ϕ	mm.	ϕ	mm.			mm.	%	
166N	0.37	0.47	0.27	0.82	1.00	-0.10	0.71	24.1	A-MEDIA HOMOGENEA ↓
167N	2.27	0.21					0.15	26.7	A-FINA HOMOGENEA ↑
168N	0.91	0.53	0.93	0.52	0.95	0.02	0.50	21.5	A-MEDIA HOMOGENEA
170N	1.13	0.45	1.26	0.42	0.91	0.14	0.30	11.7	A-FINA HETEROGENEA.

Figura 4.9: Resultados del análisis granulométrico de las muestras en el estrán de la playa de Punta Umbría en abril de 1989 (CEDEX 1991)

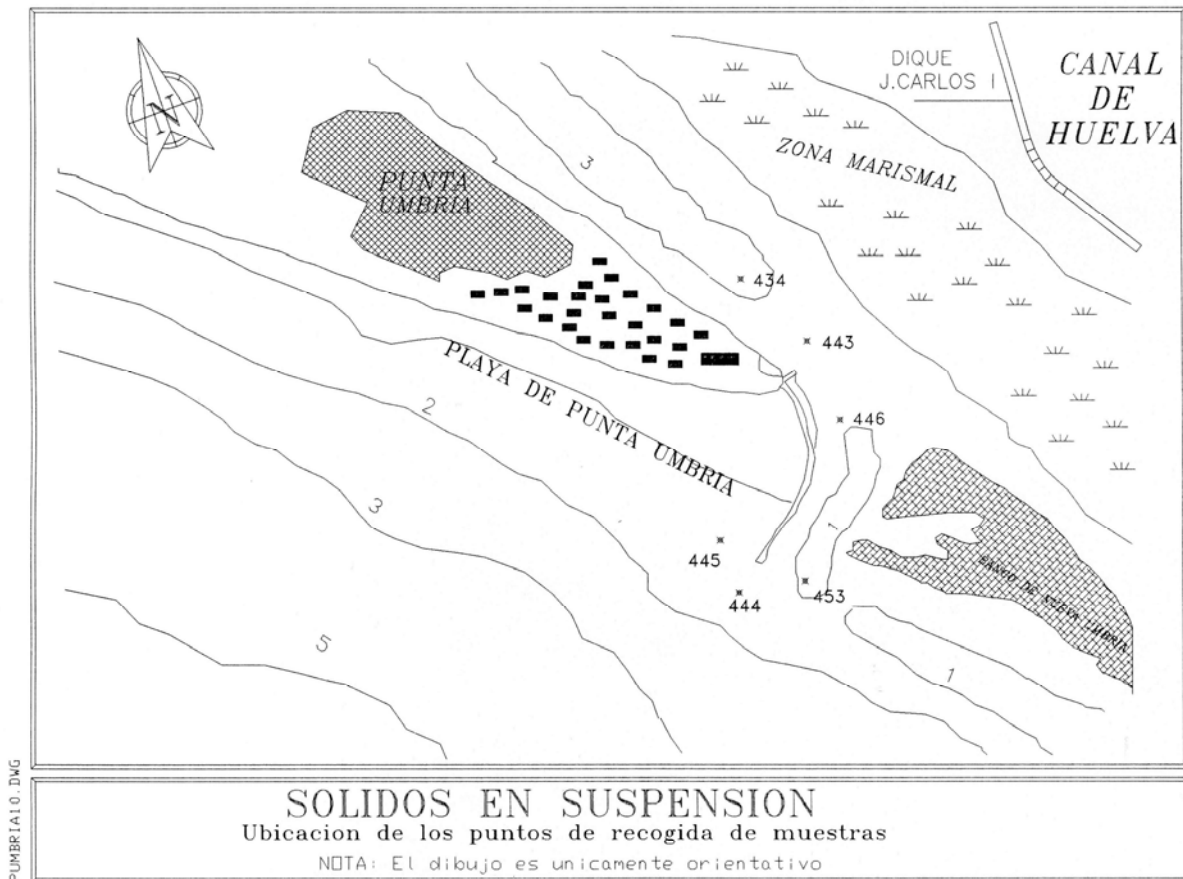


Figura 4.10: Localización de la toma de muestras de sólidos en suspensión en el estrán de la playa de Punta Umbría en abril de 1989 (CEDEX 1991)

ZONA DE MUESTREO - HUELVA - PUNTA UMBRÍA
Estado DEL MAR - CALMA.

BOTELLA N°	VOLUMEN RECOLECTADO (C.C.)	Peso SEDIMENTO (gr)	CONCENTRACION (gr/lr.)
433	416,6	0,0047	0,011
434	474,3	0,0227	0,061
443	407,4	0,0329	0,081
444	412,1	0,0296	0,072
445	470,6	0,0212	0,045
446	424,5	0,0231	0,054
447	485,8	0,0428	0,100
454	425,0	0,0322	0,090
455	469,0	0,0127	0,040
456	445,2	0,0139	0,095

Figura 4.11: Resultados de las tomas de muestras de sólidos en suspensión en el canal de Punta Umbría (CEDEX 1991)

4.1.6 Características de los sedimentos: Tramo Huelva

La caracterización de los sedimentos a lo largo de la playa de la antigua flecha de Huelva se realizó mediante la toma de muestras en el estrán de la playa y dentro del canal del Puerto en una campaña realizada en abril de 1989. También se tomaron muestras de sedimento en suspensión mediante botella a lo largo del canal.

La localización de las muestras y el resultado del análisis granulométrico se muestran en las figuras siguientes. Para las muestras de sedimento en suspensión se muestra el resultado del análisis en gramos por litro.

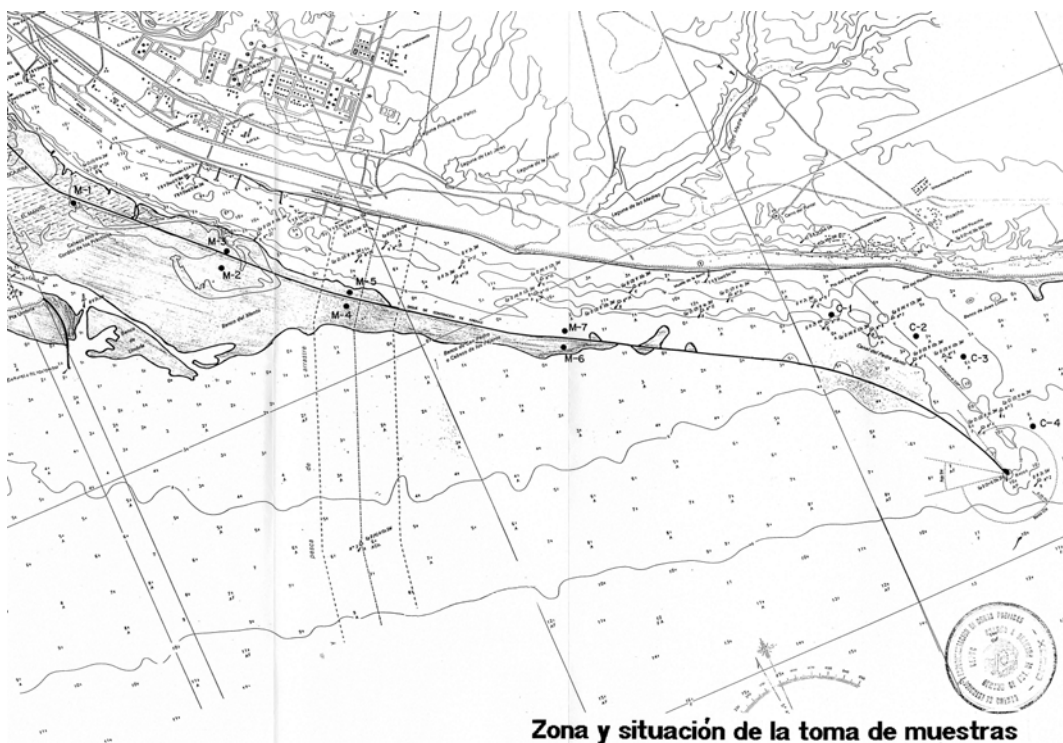


Figura 4.12: Localización de la toma de muestras en el estrán de la playa Huelva en abril de 1989 (CEDEX 1991)



CEDEX

HUELVA - GRANULOMETRIA									
MUESTRA	Md		M ϕ		G- ϕ	CC ϕ	modo		TIPO
	ϕ	mm.	ϕ	mm.			mm.	%	
M-1	1.69	0.31	1.57	0.34	0.46	-0.16	0.30	33.1	A-FINA HOMOGÉNEA ↓
M-2	1.37	0.39					0.30	23.0	A-FINA HOMOGÉNEA ↓
M-3	0.39	0.76	0.46	0.72	0.72	0.10	0.71	37.3	A-MEDIA HOMOGÉNEA ↓
M-4	1.74	0.30					0.30	21.3	A-FINA HOMOGÉNEA
M-5	2.05	0.24	2.06	0.24	0.39	0.02	0.21	54.5	A-FINA HOMOGÉNEA ↓
M-6	1.88	0.27	1.70	0.31	0.63	-0.28	0.15	31.2	A-FINA HOMOGÉNEA
M-7	1.73	0.30	1.65	0.32	0.51	-0.16	0.30	48.9	A-FINA HOMOGÉNEA ↓



Figura 4.13: Resultados del análisis granulométrico de las muestras en el estrán de la playa de Huelva en abril de 1989 (CEDEX 1991)

Muestras en el Canal de Huelva (abril de 1989)	
Muestra	Media en mm
C 1	0,454
C 2	0,402
C 3	0,362
C 4	0,309
C 5	0,270

4.1.7 Características medias de los sedimentos: Tramo Guadiana-Huelva

De los resultados de las muestras anteriores se puede hacer un pequeño esquema como el que se muestra en la figura adjunta en el que se han situado los valores de las medias de las muestras granulométricas analizadas.

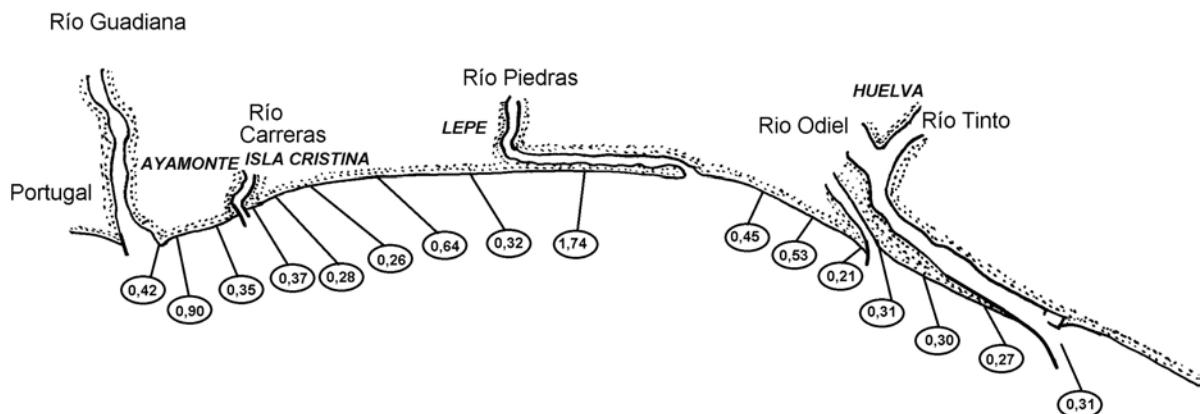


Figura 4.14: Medias en milímetros de las muestras de sedimento tomadas a lo largo de las costa de Huelva



Los resultados de las medias de las muestras de sedimento tomadas indican que a lo largo de la costa de Huelva, desde el río Guadiana hasta Huelva, los sedimentos de las playas son arenas situadas en torno a 0,3 mm; oscilando su valor dependiendo de la zona si está más o menos abrigada, salvo dos muestras de material grueso, debido principalmente a efectos locales no pareciendo que sea representativo del conjunto.

4.2 PROPAGACIÓN DE OLEAJE

En gran parte de los informes realizados por el CEDEX (1991 y 2003) se efectuaron propagaciones de oleaje. El objetivo fundamental de estas propagaciones es apreciar el efecto del oleaje que alcanza la costa en determinados supuestos de comportamiento. El total de los informes que efectuaron estas propagaciones es de cuatro, centradas en:

- La desembocadura del río Guadiana (2003)
- La Flecha del Rompido (1991)
- Punta Umbría (1991)
- Puerto de Huelva (1991)

A continuación se hace un resumen de los resultados a los que se llegó. En todos los casos, la propagación de oleaje se realizó a partir del modelo denominado REFDIF, que se basa en la aproximación parabólica de la ecuación de Berkhoff, y tiene en cuenta tanto el fenómeno de refracción como el de difracción, que ha sido desarrollado en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX por José María Grassa.

El modelo REFDIF, por tanto, se basa en una serie de ecuaciones diferenciales de tipo parabólico desarrolladas por diferentes autores: Radder, Booij y Kirby. El modelo se puede aplicar, seleccionando, una de estas tres ecuaciones, siendo, según el autor, la ecuación de Booij la más recomendable cuando las oblicuidades del frente de onda simulado son pequeñas y la ecuación minimax de Kirby cuando estas oblicuidades aumentan. Los contornos laterales del modelo permiten condiciones de contorno abiertas y reflejantes.

4.2.1 Propagación de oleaje en el entorno de la desembocadura del río Guadiana

Los objetivos perseguidos con las propagaciones fueron dos:

1. El primero de ellos fue conocer su evolución hasta que alcanza el entorno costero, y las variaciones y transformaciones que, en altura de ola o dirección, puedan producirse.
2. El segundo objetivo perseguido con la propagación de oleaje fue analizar las variaciones en la agitación que se producen a lo largo de la línea de costa, y los efectos que sobre el oleaje tiene la estructura actual de la línea de costa, bajos del delta sumergido, y las obras portuarias y de defensa costera que existen en el litoral. En este estudio interesó observar la influencia que tiene sobre el oleaje la gran barra de arena situada en la desembocadura del río Guadiana y frente a Isla Canela y estudiar la evolución previsible del oleaje a lo largo del litoral si desapareciera total o parcialmente dicha barra.

Para ello, la propagación de oleaje se realizó en dos fases:

- A. En la primera fase, en la propagación de aproximación, se propagó, desde altamar hasta una profundidad de 16 metros, sobre la batimetría general de la carta náutica nº 44B del Instituto Hidrográfico de la Marina (I.H.M),



- B. En la segunda fase, en la propagación de detalle, se propagó sobre la batimetría general de la carta náutica nº 440 del I.H.M. Y se realizó en tres supuestos distintos: en el primero de ellos también se utilizará la batimetría de la desembocadura del río Guadiana incluida en el “Estudio de variables ambientales en el tramo onubense del río Guadiana” del año 1998 del Centro de estudios de Puertos y Costas del CEDEX. En el segundo supuesto se usó las batimetrías anteriores, eliminando los bajos mayores de 0 m. Y en el tercer supuesto, se supuso eliminados totalmente los bajos existentes frente a Isla Canela.

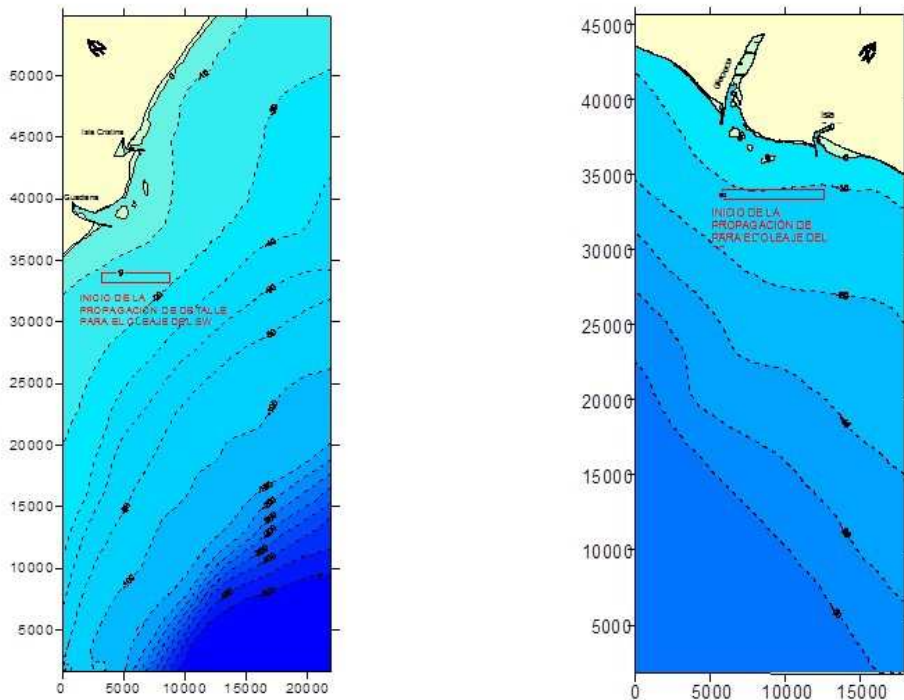


Figura 4.15: Batimetrías generales y mallas usadas para la propagación de la primera fase, de aproximación (CEDEX 2003)

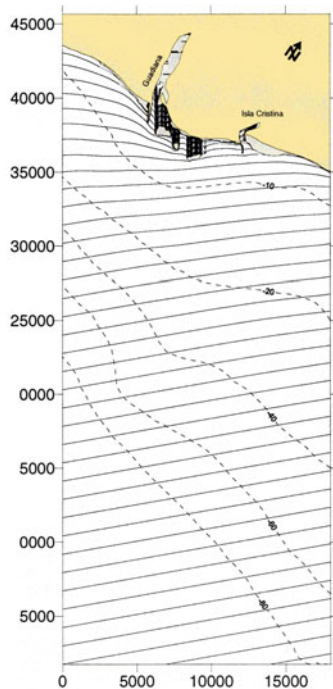
Las propagaciones que se efectuaron son las siguientes (CEDEX 2003):

1. Propagación de aproximación
 - Dirección SW
 - Dirección SE
2. Propagación de detalle
 - Dirección SW
 - Bajamar
 - Nivel medio
 - Pleamar
 - Dirección SE
 - Bajamar
 - Nivel medio
 - Pleamar
 - Dirección SW (Alternativa 2)
 - Bajamar

- Nivel medio
- Pleamar
- Dirección SE (Alternativa 2)
 - Bajamar
 - Nivel medio
 - Pleamar
- Dirección SW (Alternativa 3)
 - Bajamar
 - Nivel medio
 - Pleamar
- Dirección SE (Alternativa 3)
 - Bajamar
 - Nivel medio
 - Pleamar

De la primera fase de la propagación, solo interesaron los datos de oleaje que se debían introducir como datos iniciales en la propagación de detalle que comenzaba a una profundidad media de 12 m. El oleaje del SW alcanzaba la zona de la propagación de detalle, tras haber girado 8° , en la dirección SW (222°), siendo la altura de ola relativa media de 0'85 m. El oleaje del SE alcanzaba la zona de la propagación de detalle, tras haber girado 4° , en la dirección SE (139°), siendo la altura de ola relativa media de 0'90 m.

PROPAGACIÓN DE APROXIMACIÓN
Estuario del Guadiana - Fases
Dirección: SE (135°)
Período: 7 sg.



PROPAGACIÓN DE APROXIMACIÓN
Estuario del Guadiana - Fases
Dirección: SW (230°)
Período: 7 sg.

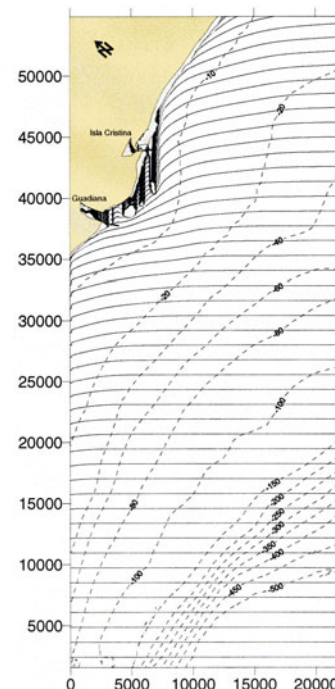


Figura 4.16: Propagaciones de oleaje de aproximación en el entorno de la desembocadura del río Guadiana (CEDEX 2003)

La segunda fase partió de los datos que proporcionaba la primera fase; realizándose en cuatro alternativas con las direcciones indicadas; si bien, para este trabajo solamente interesa centrarse en la primera de ellas, sin alterar los bajos que forman el delta sumergido del río Guadiana. Tras ello analizar la influencia que éstos tienen en la zona y para ello se toman las diferencias de altura de ola existentes con bajos (alternativa 1) y si no existiesen los bajos (alternativa 3).

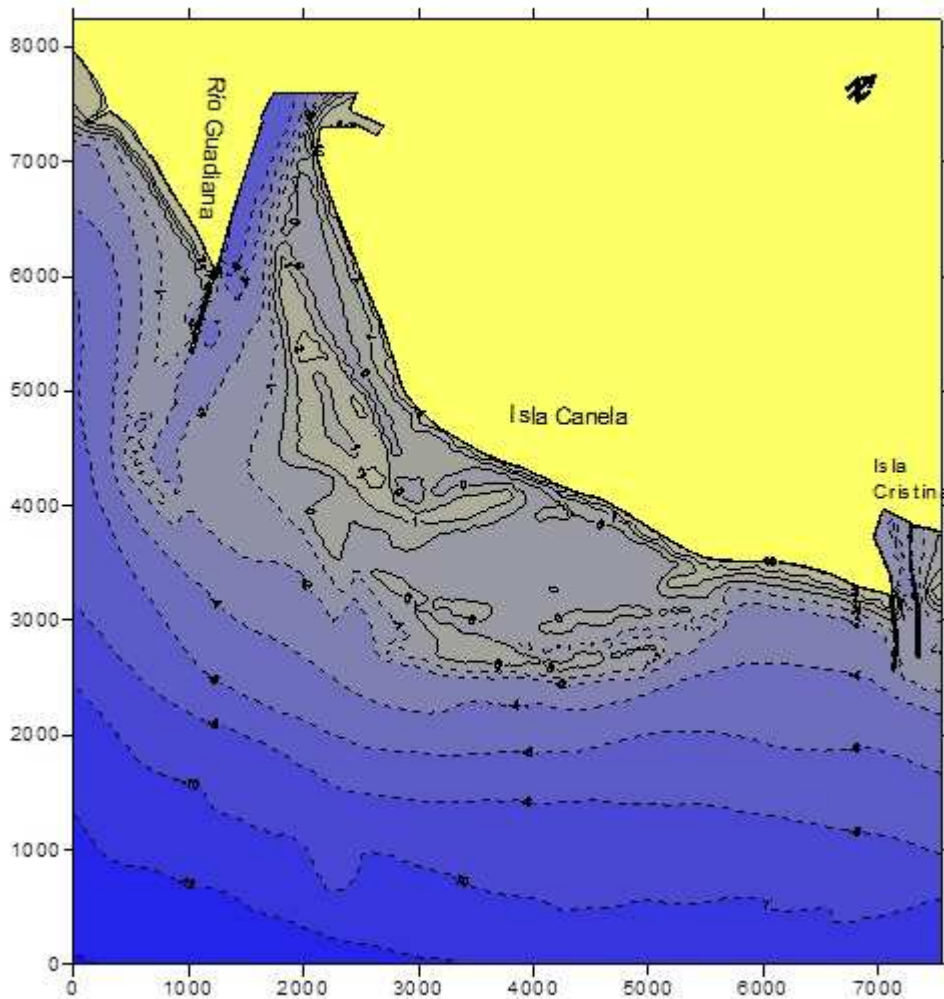
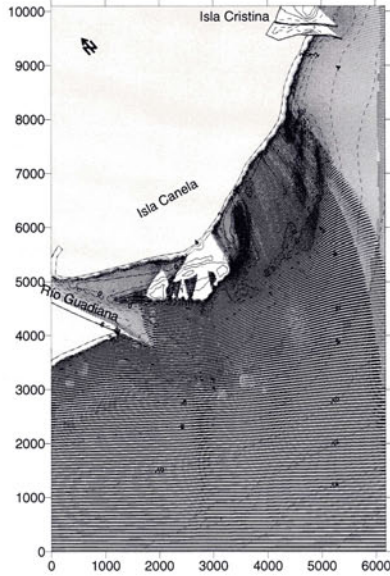


Figura 4.17: Batimetría de 1998 utilizada para la propagación de detalle en el entorno de la desembocadura del río Guadiana (CEDEX 2003)

En las figuras siguientes se presenta la propagación de detalle en las dos direcciones consideradas, SE y SW, tomando la salida de las superficies que representaría los frentes de oleaje. Se ha tomado el estado de nivel medio del mar, si bien en el citado informe aparecen todas salidas de la propagación (CEDEX 2003).

PROPAGACIÓN DE DETALLE

Estuario del Guadiana - Nivel medio: 1'7 m - Superficies
Dirección: SW (222°)
Período: 7 sg



PROPAGACIÓN DE DETALLE

Estuario del Guadiana - Nivel medio: 1'7 m - Superficies
Dirección: SE (139°)
Período: 7 sg

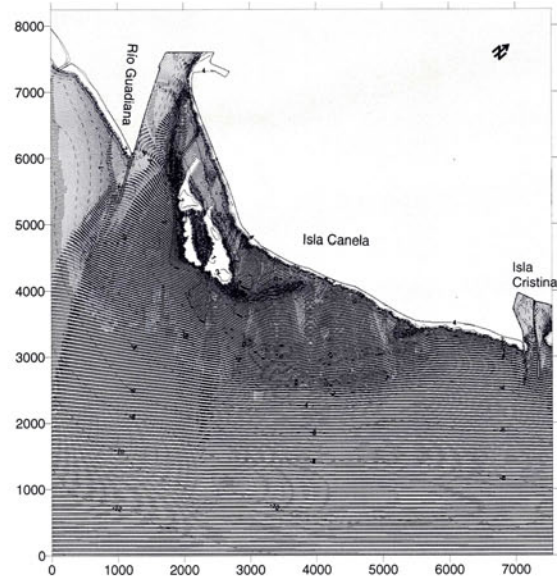
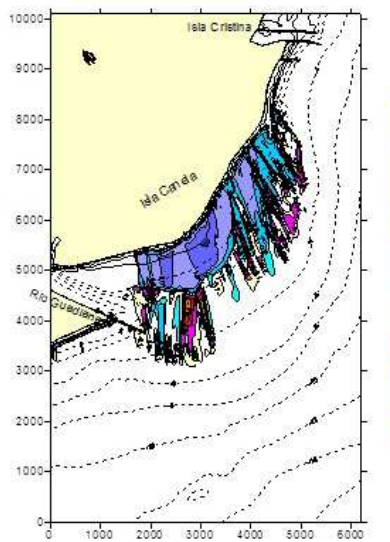
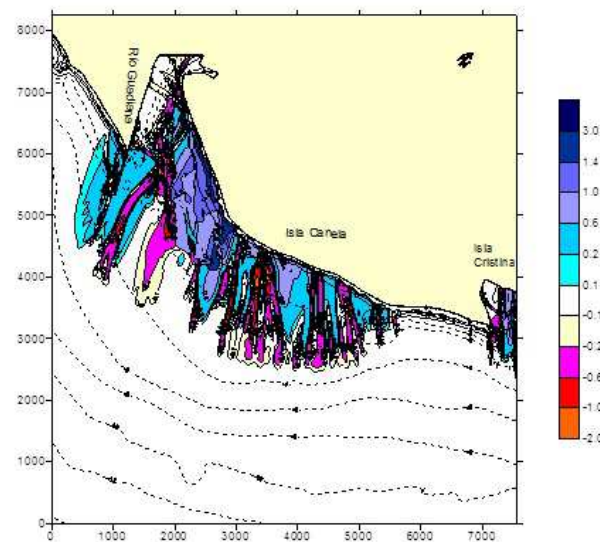


Figura 4.18: Propagación de oleaje en nivel medio de marea en el entorno de la desembocadura del río Guadiana (CEDEX 2003)



Diferencias de alturas de ola para SW, marea de 1'7 m, y entre los Supuestos 1) y 3)



Diferencias de alturas de ola para SE, marea de 1'7 m, y entre los Supuestos 1) y 3)

Figura 4.19: Propagación de oleaje en nivel medio de marea en el entorno de la desembocadura del río Guadiana; diferencia de alturas de ola que provoca la existencia del delta sumergido (CEDEX 2003)

Las diferencias de altura de ola que provoca el delta sumergido del río Guadiana, bajos, que se aprecian en las propagaciones son muy importantes, alcanzando el efecto hasta cerca de Isla Cristina. Esta reducción de altura de ola respecto a la que tendría sin bajos, hace que el propio crecimiento de los bajos provoque un una mayor retención de arena que salga del río; reduciéndose la capacidad del oleaje para incorporarla a la dinámica litoral. Ello hace que en las proximidades de este efecto de los bajos se provoque una erosión importante; debido a que debe suplir como sumidero la reducción que los bajos hacen al no tener energía suficiente. Por lo que resultan lógicos los estados erosivos que se han presentado en la playa de Isla Canela.

4.2.2 Propagación de oleaje en el entorno de la Flecha del Rompido

El informe del CEDEX (1991) sobre la Flecha del Rompido incluía, aparte de un estudio muy completo de la hidrodinámica de la flecha, propagaciones de oleaje en las dos direcciones principales: SE y SW, considerando dos periodos de pico de los temporales: 10 y 14 s. En las figuras siguientes se muestran los resultados para periodos de 10 s, siendo muy similares los resultados para el periodo mayor.

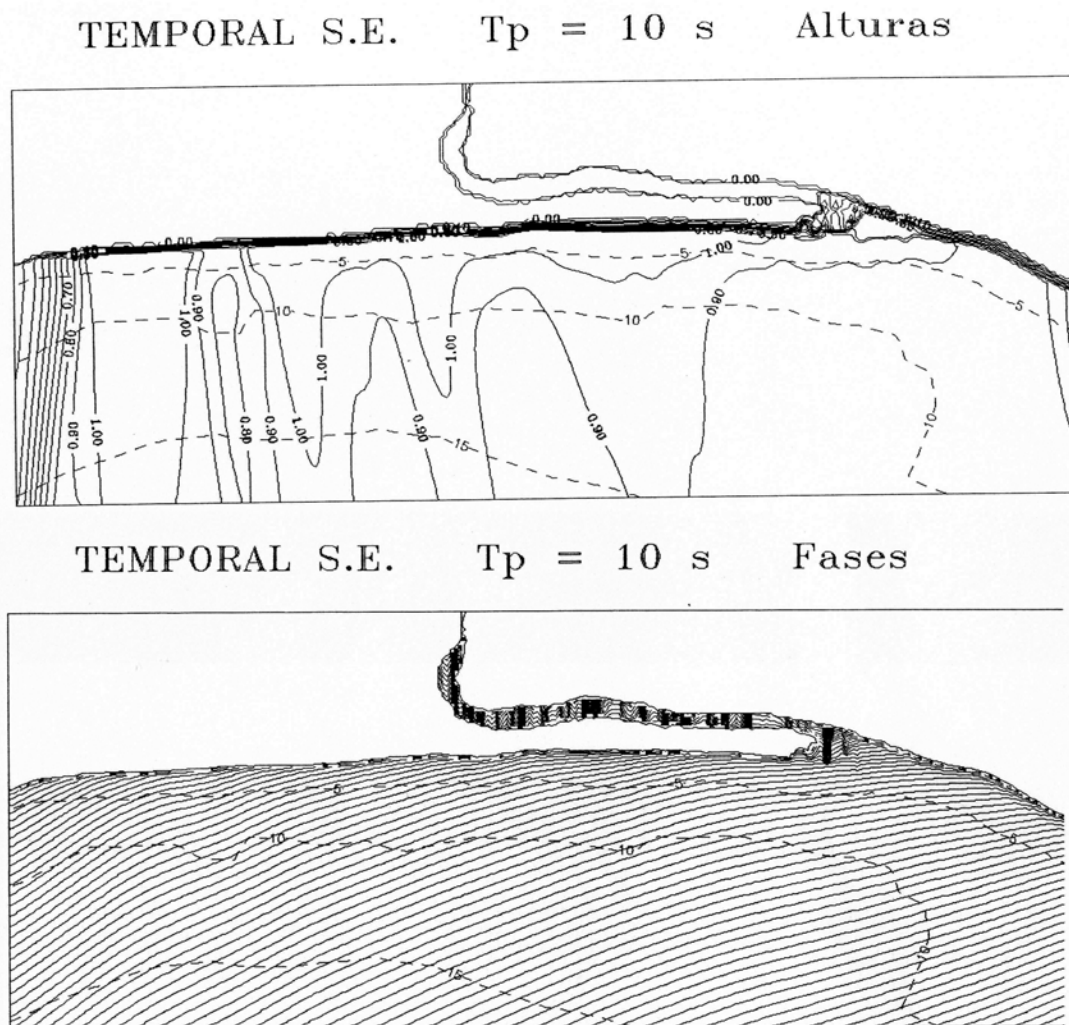


Figura 4.20: Resultados de la propagación de oleaje en el entorno de la Flecha del Rompido para oleajes del SE (CEDEX 1991)

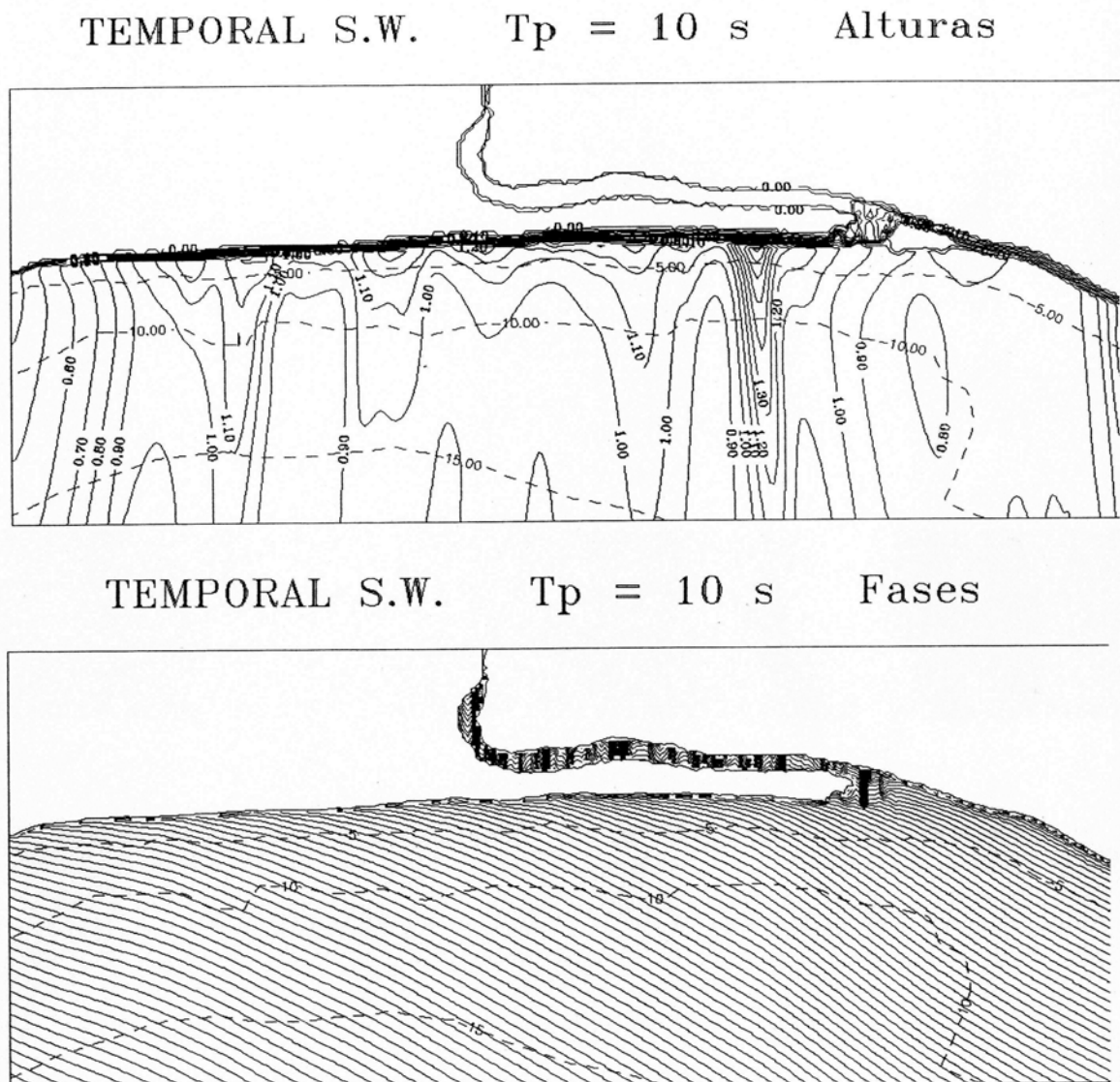


Figura 4.21: Resultados de la propagación de oleaje en el entorno de la Flecha del Rompido para oleajes del SE (CEDEX 1991)

Los resultados que se obtienen de estas propagaciones del oleaje sobre la costa de la Flecha del Rompido explican la formación de los bajos frente a la flecha y el freno que se ha producido en la punta.

Los oleajes provenientes del suroeste, al arribar en las inmediaciones de la punta de la Flecha del Rompido producen una zona de baja altura de ola respecto al resto, que se prolonga durante una cierta longitud. El efecto inmediato es la reducción en la intensidad del transporte sólido litoral y, con ello la sedimentación de material y formación de bajos, que se aprecian en los datos y fotografías, y un aumento en la acumulación de material en la playa colindante. A su vez, aguas abajo, a sotamar, la restauración del transporte sólido a intensidades mayores hace que una zona sea sensible a la erosión; aunque se compensa en cierta medida con la reducción de la tasa del transporte que se produce por giro de la costa.

4.2.3 Propagación de oleaje en el entorno de Punta Umbría

El informe del CEDEX (1991) sobre la Punta Umbría incluía, aparte de un estudio muy completo de la hidrodinámica del Canal de Punta Umbría, propagaciones de oleaje en las dos direcciones principales: SE y SW, considerando un periodo de pico de los temporales de 14 s, y dos estados del mar de pleamar y bajamar. En las figuras siguientes se muestran los resultados para bajamar en dirección SE y en pleamar en dirección SW.

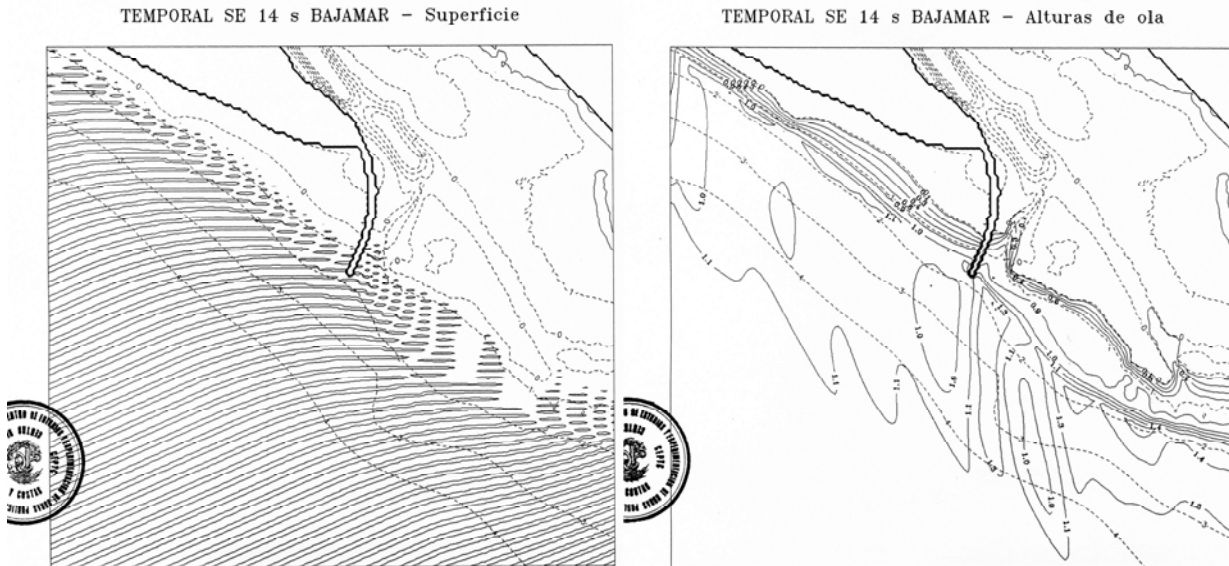


Figura 4.22: Resultados de la propagación de oleaje en el entorno de Punta Umbría para oleajes del SE (CEDEX 1991)

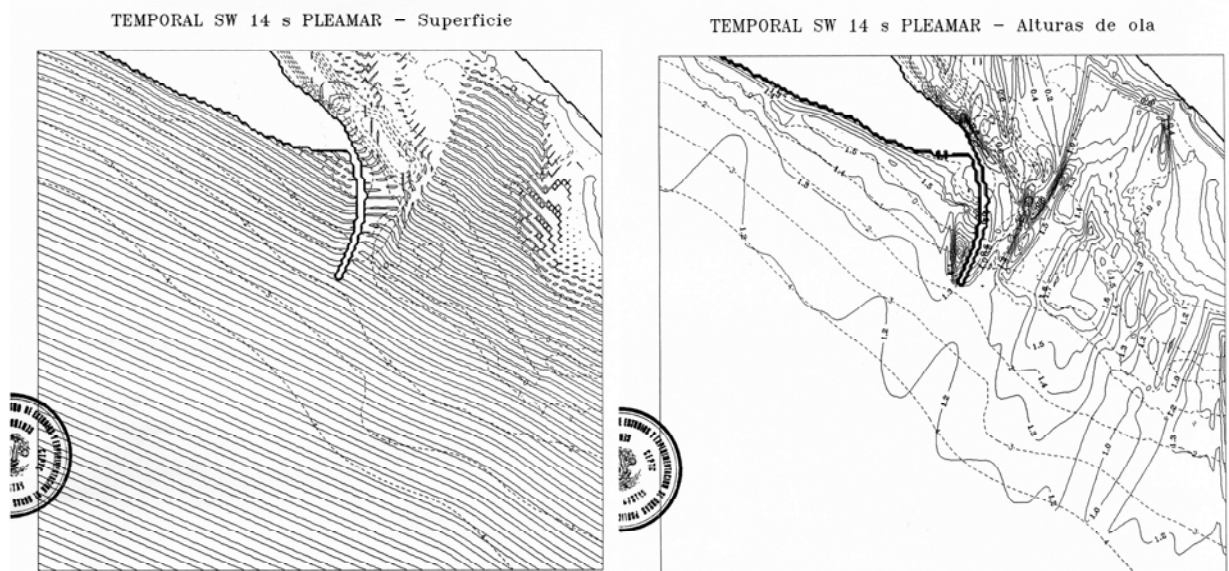


Figura 4.23: Resultados de la propagación de oleaje en el entorno de Punta Umbría para oleajes del SW (CEDEX 1991)

Los resultados de estas propagaciones en el entorno de Punta Umbría muestran cómo los provenientes del suroeste sus frentes inciden prácticamente perpendiculares a la costa, ello indica que el transporte sólido litoral es reducido; creciendo en todo el frente de la costa, con

una zona de sombra tras el dique que propicia la sedimentación del material arrastrado. El efecto final se reduce a que es la propia hidrodinámica mareal y del río la que conforman los bajos, favorecidos por la sedimentación provocada por el oleaje.

4.2.4 Propagación de oleaje en el entorno de Huelva

El informe del CEDEX (1991) sobre la el Puerto de Huelva incluía, aparte de un estudio muy completo de la hidrodinámica del Canal del Puerto de Huelva, propagaciones de oleaje en las dos direcciones principales: SE - S 30 E y SW -S 45 W, considerando un periodo de pico de los temporales de 14 s, y dos estados del mar de pleamar y bajamar. También se realizó en dos fases: De aproximación y en el entorno de la bocana del dique Juan Carlos I. En las figuras siguientes se muestran los resultados para bajamar en dirección SW y en pleamar en dirección SE.

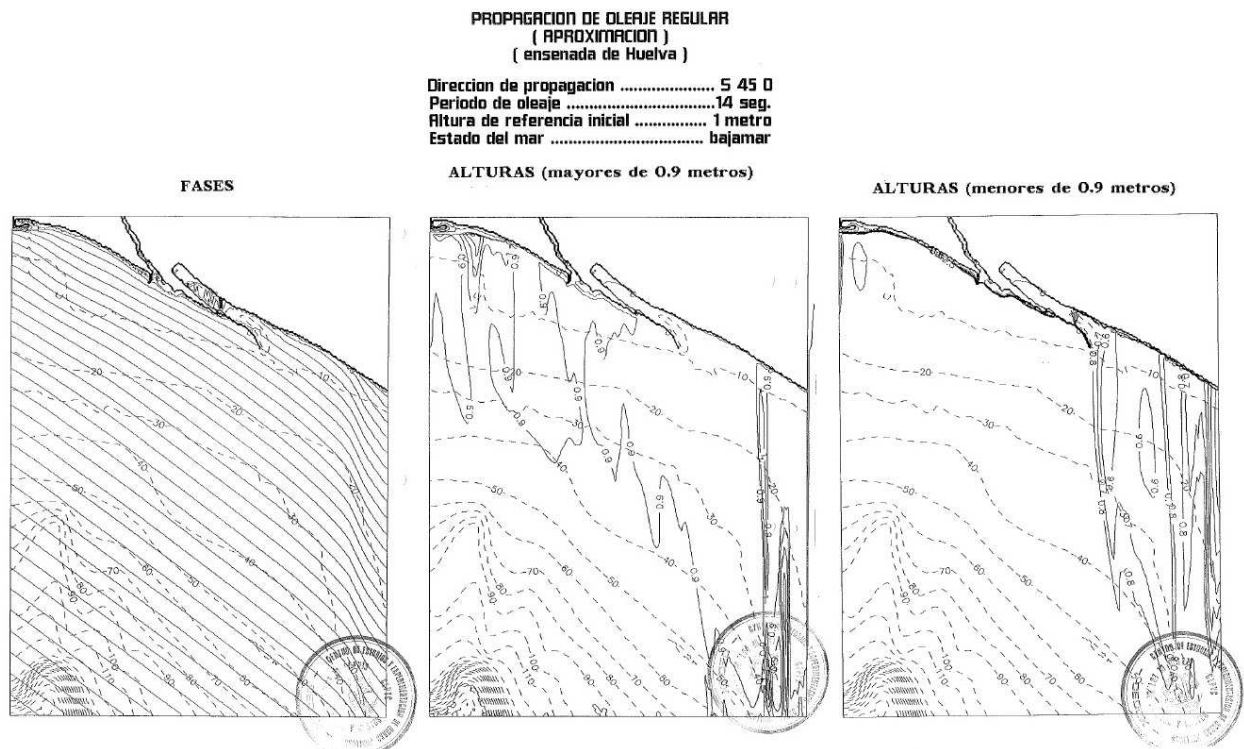


Figura 4.24: Propagación de oleaje frente a las flechas de Punta Umbría y Huelva con dirección S45W en bajamar (CEDEX 1991)

Los oleajes provenientes del S45W al incidir en la costa frente a las flechas de Punta Umbría y Huelva lo hacen prácticamente paralelos a la costa; apareciendo una reducción de altura de ola tras el dique de Huelva, Juan Carlos I, debido a la sombra que éste hace frente al oleaje, que favorece un transporte por gradiente de altura de ola hacia el canal de Huelva.

Frente a las dos flechas se produce un aumento de altura de ola, que vuelve a aparecer tras el efecto de sombra del dique Juan Carlos I sobre la costa.

Los oleajes provenientes del S30E provocan solamente olas mayores en el entorno del levante del dique Juan Carlos I de Huelva, lo que favorece, también, el transporte de sedimentos hacia el canal de entrada del Puerto de Huelva; mientras se reduce la altura más a levante que ralentiza el transporte compensatorio hacia poniente.



CEDEX

PROPAGACION DE OLAJE REGULAR
(APROXIMACION)
(ensenada de Huelva)

Dirección de propagación S 30 E
Periodo de oleaje 14 seg.
Altura de referencia inicial 1 metro
Estado del mar pleamar

FASES

ALTURAS (mayores de 1 metro)

ALTURAS (menores de 1 metro)

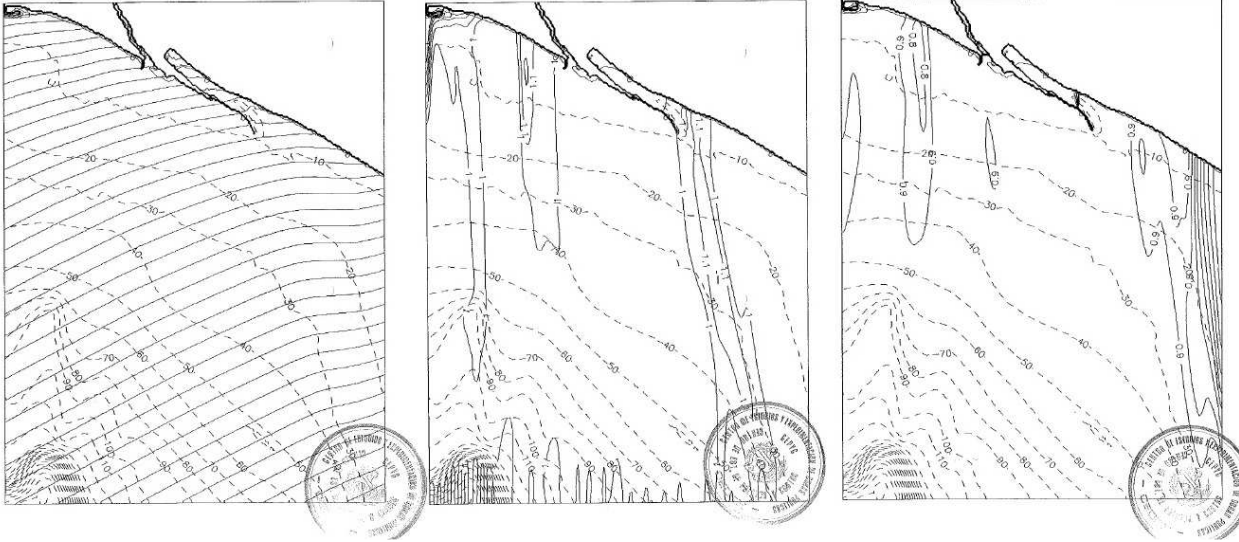


Figura 4.25: Propagación de oleaje frente a las flechas de Punta Umbría y Huelva con dirección S30E en pleamar (CEDEX 1991)

PROPAGACION DE OLAJE REGULAR
(DETALLE)
(ensenada de Huelva)

Dirección de propagación S 45 O
Periodo de oleaje 14 seg.
Altura de referencia inicial 1 metro
Estado del mar bajamar

FASES

ALTURAS

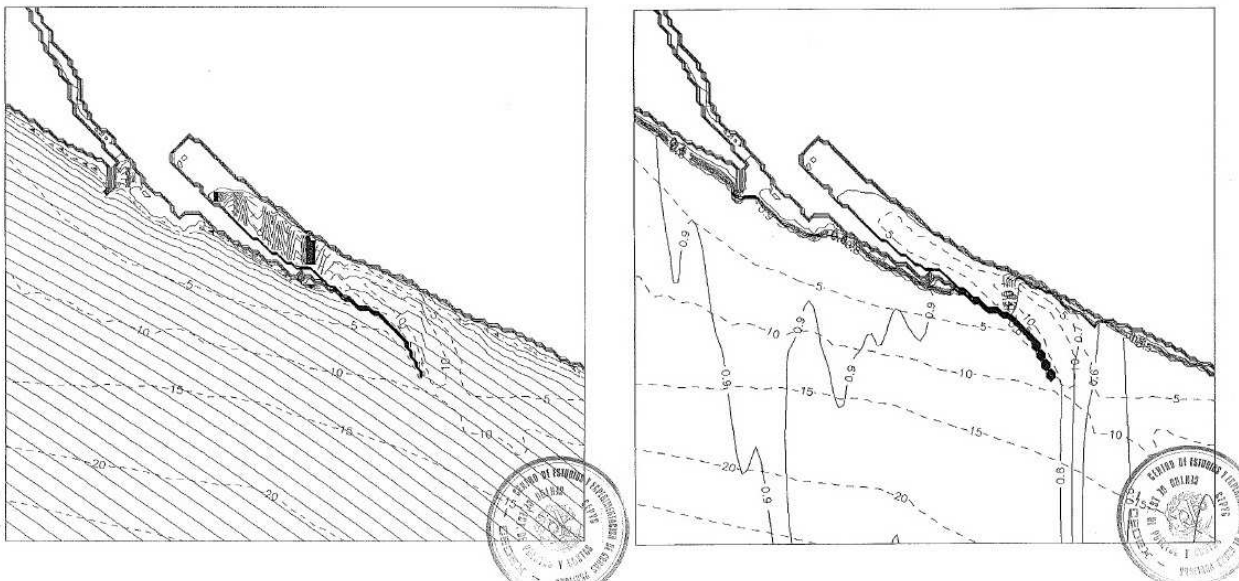


Figura 4.26: Propagación de oleaje frente a Huelva con dirección S45W en bajamar (CEDEX 1991)

PROPAGACION DE OLAJE REGULAR
(DETALLE)
(ensenada de Huelva)

Dirección de propagación S 30 E
Periodo de oleaje 14 seg.
Altura de referencia inicial 1 metro
Estado del mar pleamar

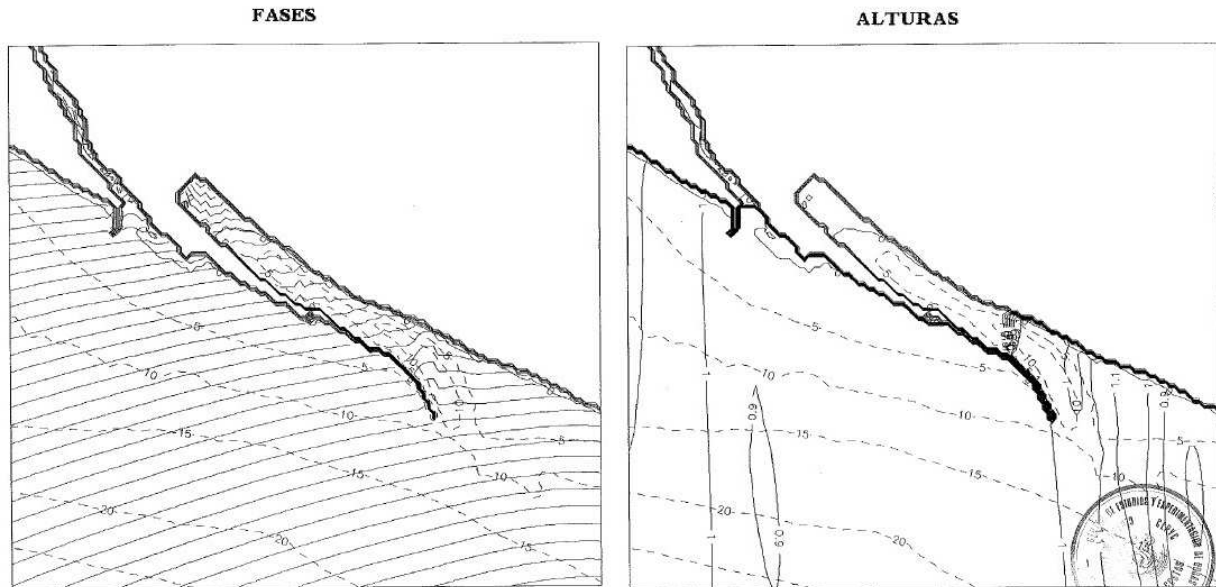


Figura 4.27: Propagación de oleaje frente a Huelva con dirección S30E en pleamar (CEDEX 1991)

Finalmente, el último tramo de la costa onubense, correspondiente a la playa de Castilla, no se ha propagado; si bien, su orientación y morfología, formado por una playa continua, hace que se pueda suponer que solamente los oleajes provenientes del arco en torno al suroeste sean los únicos que puedan incidir con una cierta intensidad. La forma de la batimetría; muy uniforme y paralela a la costa, hace que también lo sea el oleaje a lo largo de toda ella.

4.3 TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

El estudio del transporte sólido litoral a lo largo de las costas de Huelva ha sido abordado en diferentes estudios e informes; por lo que se puede suponer bastante bien identificado. Para estudiarlo se ha dividido en dos grandes tramos, correspondientes:

- Tramo I: Desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido
- Tramo II: Flecha del Rompido – Desembocadura del río Guadalquivir

Para cada uno de ellos se identificará las fuentes más relevantes que calculan y determinan el transporte sólido litoral longitudinal a la costa y los valores que se desprende de todo ello.

4.3.1 Transporte longitudinal de sedimentos. Tramo I: Desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido

El estudio del transporte longitudinal de sedimentos entre la desembocadura del río Guadiana y la Flecha del Rompido se realizó en el informe del CEDEX de 2003. Se dividió en tres apartados:

1. Distinguiendo los cálculos del transporte longitudinal realizados en informes técnicos anteriores
2. Cálculo del transporte longitudinal
3. Comparación de los resultados de ambas fuentes

Debe considerarse que, aunque se haya calculado para el mismo punto de la costa los resultados pueden ser muy dispares, si se tienen en cuenta los bajos o no se tuvieron en cuenta, tal y como se explica en los apartados siguientes.

4.3.1.1 Antecedentes del cálculo del transporte longitudinal

En los diversos informes técnicos realizados de la zona se ha ido calculando el transporte longitudinal de sedimentos en el entorno de la desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido. A continuación se muestran los resultados por orden cronológico (CEDEX 2003):

1- CEDEX 1979

Éste es un informe técnico general de las provincias de Huelva y Cádiz atlántico, por lo que no posee gran detalle en su análisis. El cálculo de transporte longitudinal se realizó utilizando la malla de datos de oleaje visuales, que entonces se poseía, comprendida entre los meridianos y paralelos siguientes:

Latitud	36° 18' N y 38° N
Longitud	6° 42' O y 7° O

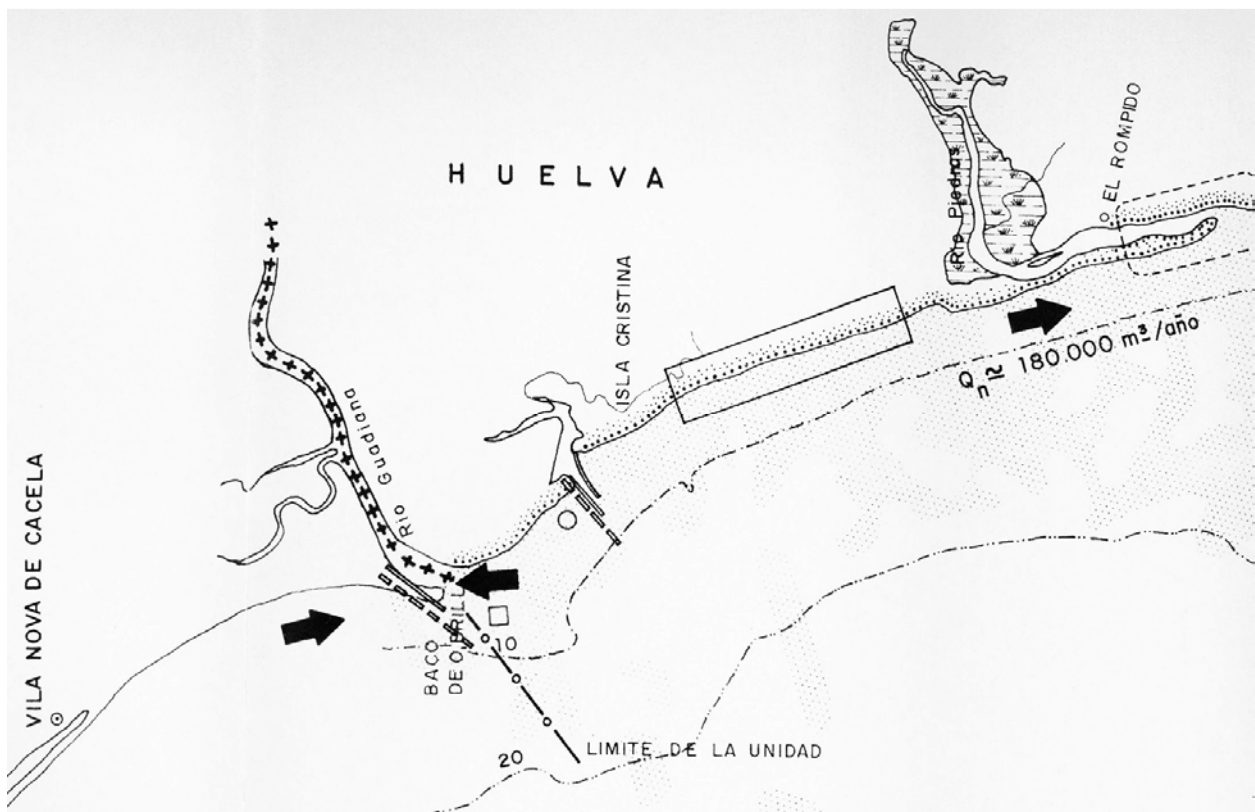


Figura 4.28: Transporte longitudinal de sedimentos (CEDEX1979)

La fórmula teórica utilizada para el cálculo de la capacidad de transporte longitudinal fue la del CERC, a cuyos resultados se aplicó un coeficiente de rectificación del 0'7, dando un valor para

el transporte longitudinal en la zona de la flecha del Rompido de 180.000 m³/año, que según indica dicho informe técnico se aproxima a los 150.000 m³/año que era el aumento que calculaban en la Flecha.

2- JOSÉ ÁLVAREZ (CONSOMAR S.A.) 1995

En este informe técnico, asistencia técnica para la entonces Dirección General de Costas –hoy Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar-, se calculó el transporte longitudinal de sedimentos utilizando los datos de oleaje que se insertan en la ROM 0.3-91. A estos datos se le aplicaron las fórmulas teóricas de capacidad del transporte longitudinal del CERC y de DELFT (Bijker). El cálculo se hizo variando los ángulos de, la costa que se encuentran en el frente de playa Canela.

Variación de la capacidad de transporte con la alineación de la costa

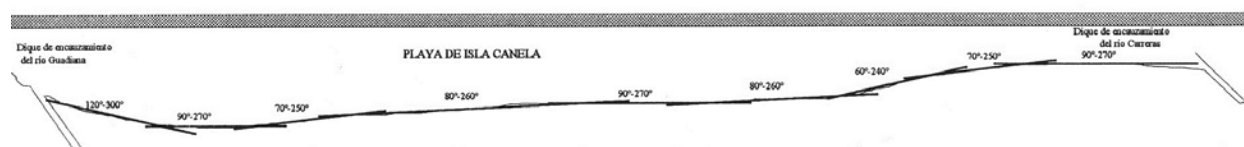
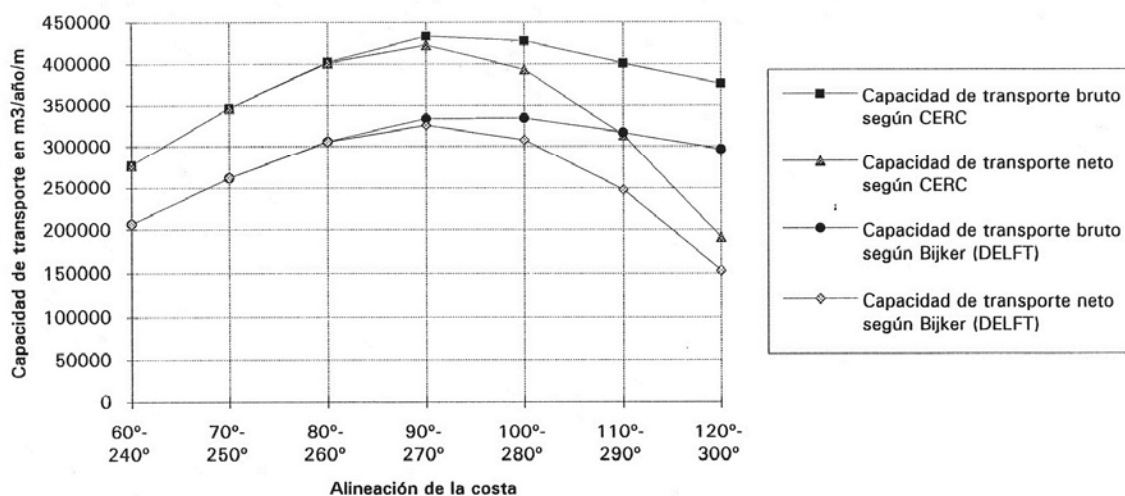


Figura 4.29: Variación de la capacidad del transporte longitudinal con respecto a la alineación de la costa (Álvarez 1995)

Obteniéndose que el transporte neto en el contorno de Isla Canela está comprendido entre un valor máximo de 422.753 m³/año y un mínimo de 191.592 m³/año (CERC), o 325.721 m³/año y 153.284 m³/año (DELFT).

3- LECHUGA (CEDEX) 1996

En este informe Técnico se calculó el transporte de sedimentos en la playa Canela utilizando la variación de la línea de orilla entre 1981 y 1986; obteniendo un retroceso medio de 38 m (2'55 m/año) y un máximo anual de 6'86 m, perdiéndose 1.230.085 m³ de arena, esto es: 82.000 m³/año que es el transporte real de sedimentos producido en la playa Canela en el periodo indicado.

4- MEDINA (CEDEX) 1997

El cálculo teórico del transporte longitudinal de sedimentos se realizó en este informe técnico en dos puntos de la playa Canela, con normal a la costa de 160° respecto al norte y tomando como límites de oleaje:



CEDEX

Levante 78° 96°
Poniente 248° 249°

Dando un valor, en m³/año para cada uno de los puntos de:

Punto	Tte. Bruto	Tte. Neto
1	1.088.052	435.563
2	862.281	202.341

Y su distribución según las direcciones de oleaje que lo producen se muestran en la figura adjunta, siendo la fórmula teórica del CERC la utilizada en este informe técnico.

Transporte sólido longitudinal bruto

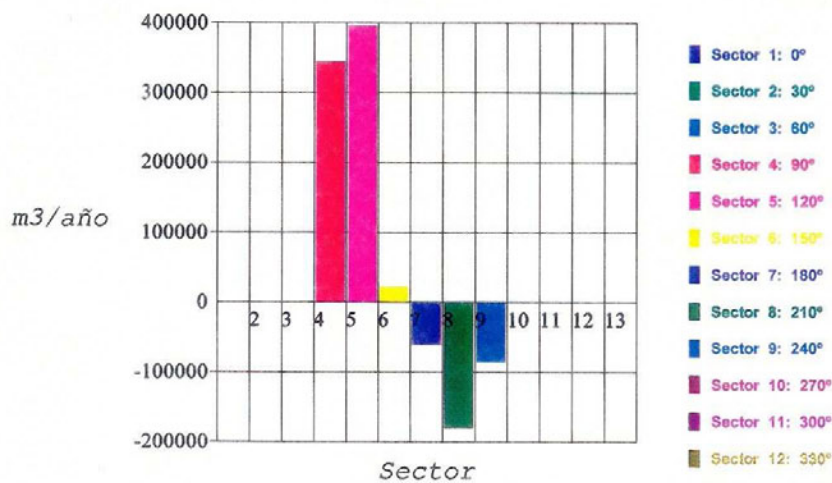


Figura 4.2.- Reparto del transporte sólido por sectores para el punto 1 de la alineación considerada

Transporte sólido longitudinal bruto

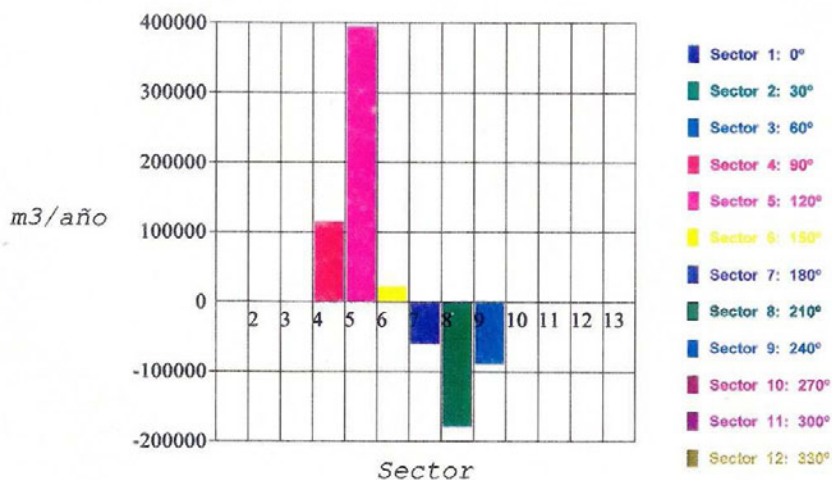


Figura 4.30: Transporte longitudinal por direcciones en la playa de Isla Canela (CEDEX 1997)

5- ENRIQUEZ (HIDTMA S.L.) 2000

Este informe técnico, como estudio integral de toda la costa de Huelva, asistencia técnica para la entonces Dirección General de Costas –hoy Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar-, va calculando el transporte de sedimentos a lo largo de toda la costa. La novedad que presenta este informe técnico es que el cálculo realizado para el entorno de la desembocadura del río Guadiana lo realiza para toda la superficie de playa, esto es: playa y bajos.

El balance sedimentario de todo el entorno de la desembocadura del río Guadiana lo realiza por variación volumétrica de los fondos, dando así valores, no frente a las propias playas de Canela, sino en los frentes del prodelta del Río.

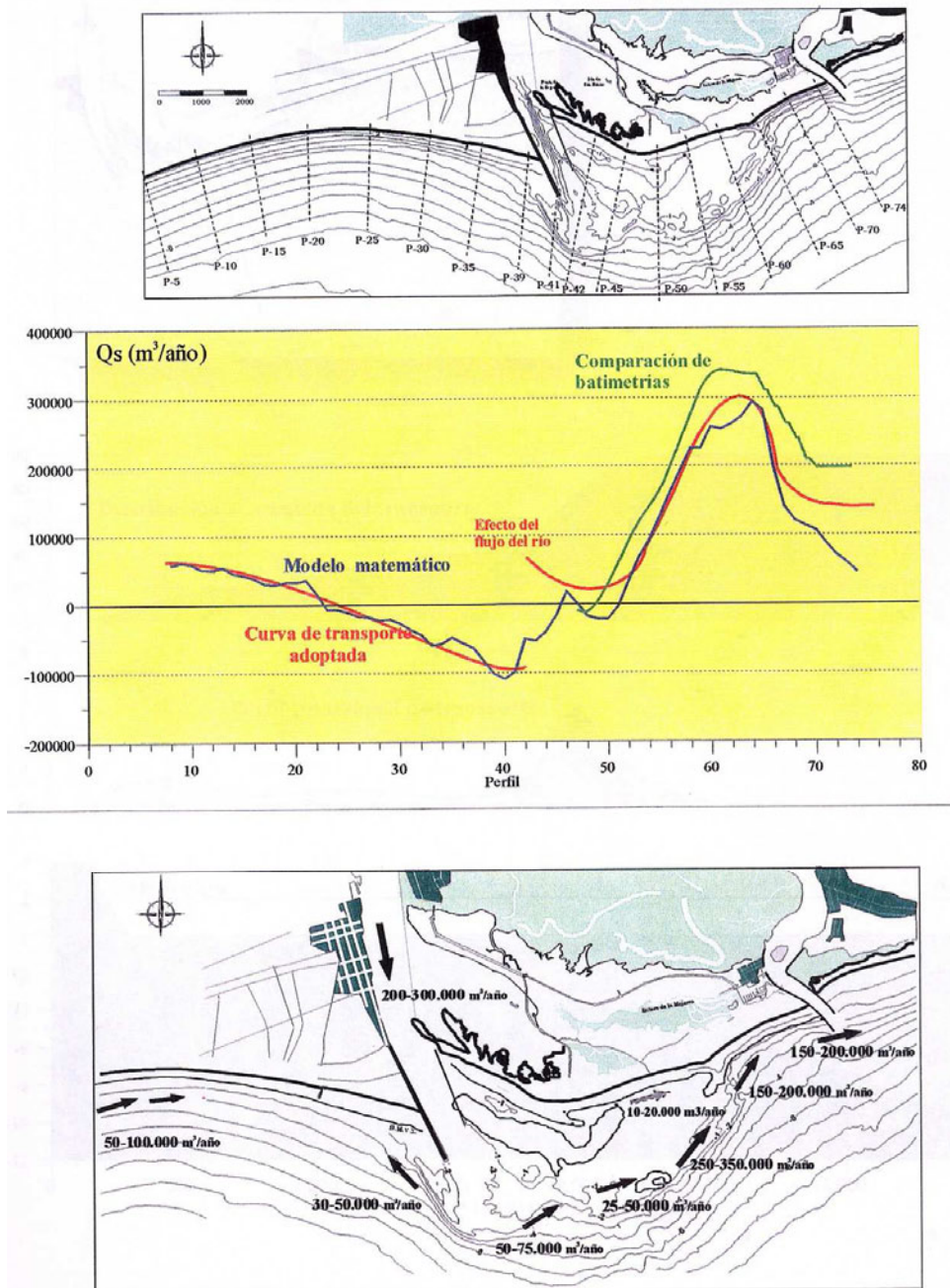


Figura 4.31: Balance sedimentario en la desembocadura del río Guadiana (Hidhma, 2000)



Los valores obtenidos se pueden resumir en (con valor positivo en sentido hacia el este):

Costa portuguesa:	50/100.000 m ³ /año
Parte portuguesa frente a la desembocadura:	- 30/50.000 m ³ /año
Parte española frente a la desembocadura:	50/75.000 m ³ /año
Bajos en el centro de Isla Canela:	25/50.000 m ³ /año
Bajos al este de Isla Canela:	250/300.000 m ³ /año
Playa Canela:	10/20.000 m ³ /año
Playa de los Haraganes:	150/200.000 m ³ /año
Punta del Caimán:	150/200.000 m ³ /año
Playa del Hoyo:	50/100.000 m ³ /año
Flecha del Rompido:	300/400.000 m ³ /año

4.3.1.2 Cálculo del transporte longitudinal: Desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido (CEDEX 2003)

El cálculo del transporte sólido litoral longitudinal en el tramo desde la desembocadura del río Guadiana hasta la Flecha del Rompido se realizó utilizando la fórmula del flujo de energía del CERC. Se procedió a calcular el transporte sólido longitudinal en diez puntos de la costa; tanto para el oleaje tipo Swell, como para el oleaje tipo Sea. Los cálculos se efectuaron utilizando la fórmula del CERC con los dos coeficientes K considerados anteriormente, Komar & Inman y SPM, y con los datos de oleaje en altamar correspondientes a los datos visuales del N.C.D.C.

Las hipótesis de partida para la determinación de estas fórmulas suponen una serie de limitaciones como son:

- Batimetría rectilínea y paralela
- Validez de la teoría lineal de oleaje hasta las proximidades de rotura
- Existe una capacidad ilimitada de arena
- No existe disipación de energía hasta la rotura
- El oleaje es el único agente climático marítimo actuante

La normal y los límites de oleaje utilizados para el cálculo del transporte son los que aparecen en la tabla siguiente. En las figuras siguientes muestra: el transporte neto generado por el oleaje Swell, Sea y el total en cada una de las playas consideradas, con $K_{SPM_s} = 0.39$; y el transporte positivo y negativo total en las mismas playas con el mismo coeficiente.

LÍMITES DE OLEAJE Y NORMAL A LA COSTA					
Situación	SEA		SWELL		Normal a la costa
	Este	Oeste	Este	Oeste	
Manta Rota	85	235	129	235	150
Isla Canela-Dique	121	218	132	218	211
Isla Canela-1	99	242	132	242	181
Isla Canela-2	99	243	133	243	160
Isla Canela-3	100	223	134	223	136
Isla Canela-4	101	223	134	223	156
Verdigón	103	213	134	213	171
Hoya	106	246	136	244	177
La Antilla	108	255	137	246	175
Nueva Umbría	115	260	140	249	184

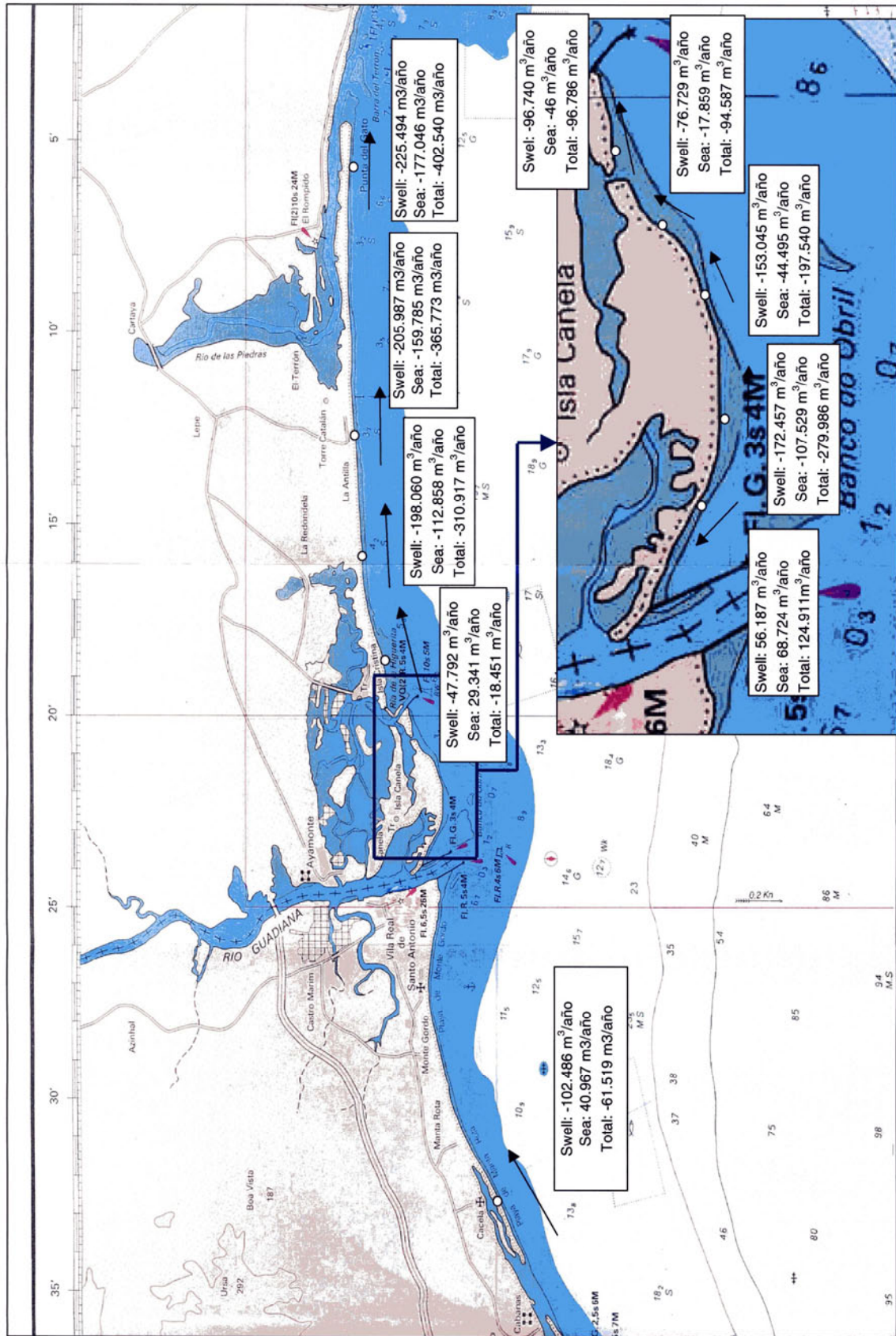


Figura 4.32: Transporte Neto Swell, Sea y Total generado con la fórmula del CERC y $K_{SPM} = 0.39$

Puntos de cálculo del transporte
 Transporte neto

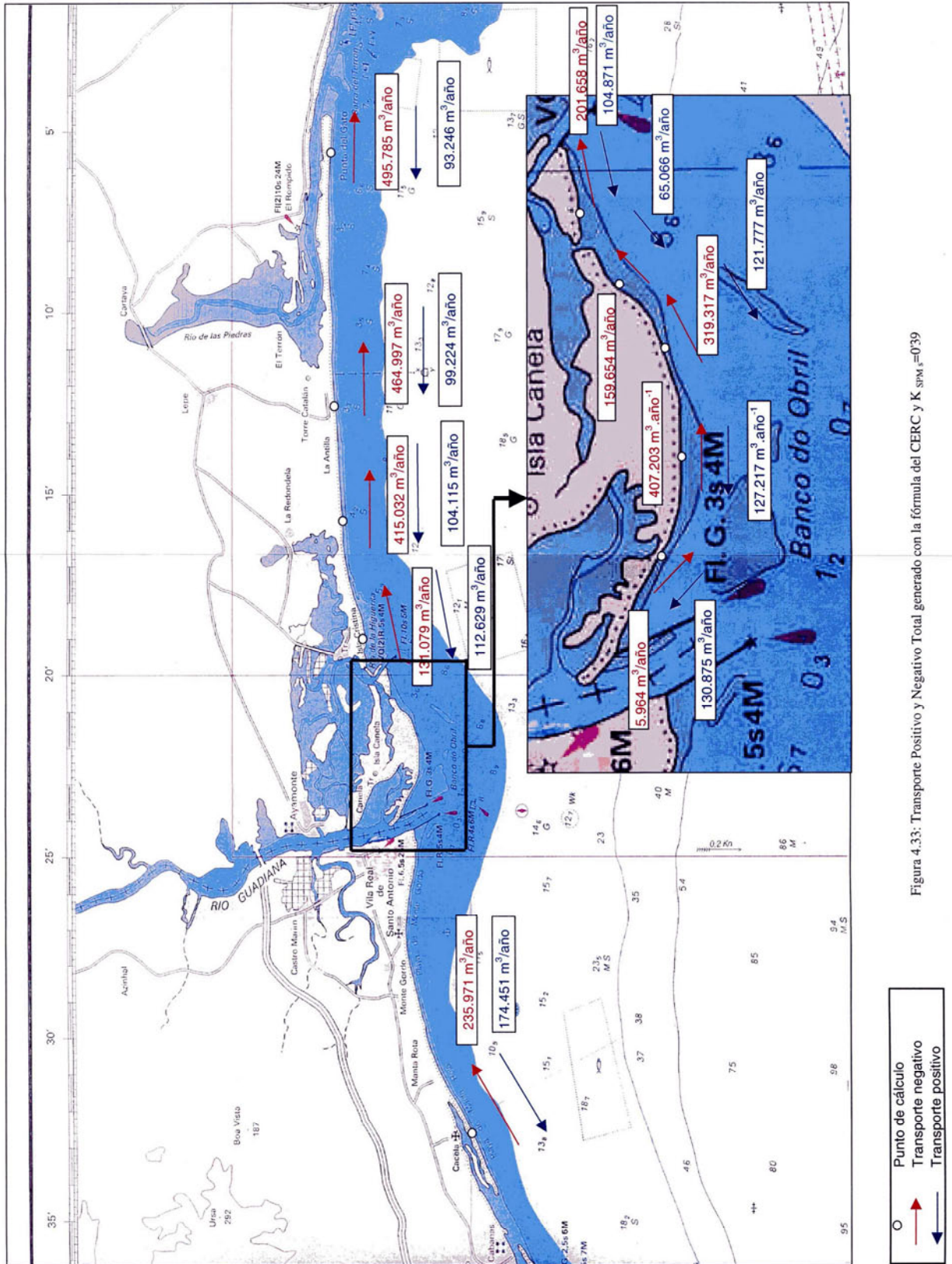


Figura 4.33: Transporte Positivo y Negativo Total generado con la fórmula del CERC y $K_{SPM} = 0.39$



En las tablas siguientes se recoge el resumen de los resultados obtenidos en el cálculo del transporte con la formulación del CERC y los dos coeficientes considerados: $K_{SPM_s}=0'39$ y $K_{K\&l,rms}=0'77$.

Playa de Isla Canela-Dique			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	61795	75043	136838
TRANSPORTE NETO	56187	68724	124911
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	58991	71884	130875
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-2804	-3159	-5964
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	51228	62211	113439
TRANSPORTE NETO	46579	56973	103551
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	48903	59592	108495
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-2325	-2619	-4944

Playa de Isla Canela-Punto 1			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	234160	300260	534420
TRANSPORTE NETO	-172457	-107529	-279986
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	30852	96366	127217
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-203308	-203895	-407203
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	194119	248916	443034
TRANSPORTE NETO	-142967	-89142	-232108
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	25576	79887	105463
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-168543	-169029	-337571

Playa de Isla Canela-Punto 2			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	177.735	263.359	441.094
TRANSPORTE NETO	-153.045	-44.495	-197.540
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	12.345	109.432	121.777
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-165.390	-153.927	-319.317
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	147.342	218.325	365.667
TRANSPORTE NETO	-126.874	-36.886	-163.760
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	10.234	90.719	100.953
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-137.108	-127.605	-264.714



CEDEX

Playa de Isla Canela-Punto 3			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	77.195	147.525	224.720
TRANSPORTE NETO	-76.729	-17.859	-94.587
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	233	64.833	65.066
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-76.962	-82.692	-159.654
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	63.995	122.298	186.293
TRANSPORTE NETO	-63.608	-14.805	-78.413
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	193	53.747	53.940
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-63.801	-68.551	-132.353

Playa de Isla Canela-Punto 4			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	110.463	196.066	306.529
TRANSPORTE NETO	-96.740	-46	-96.786
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	6.862	98.010	104.871
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-103.602	-98.056	-201.658
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	91.574	162.539	254.112
TRANSPORTE NETO	-80.198	-38	-80.236
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	5.688	81.250	86.938
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-85.886	-81.288	-167.174

Playa del Verdigón			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	77.989	165.719	243.708
TRANSPORTE NETO	-47.792	29.341	-18.451
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	15.099	97.530	112.629
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-62.890	-68.189	-131.079
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	64.653	137.381	202.034
TRANSPORTE NETO	-39.619	24.324	-15.296
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	12.517	80.852	93.369
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-52.136	-56.529	-108.665

Playa de La Hoya			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	227.711	291.437	519.147
TRANSPORTE NETO	-198.060	-112.858	-310.917
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	14.825	89.289	104.115
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-212.885	-202.147	-415.032
CERC $K_{K\&l,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	188.772	241.601	430.373
TRANSPORTE NETO	-164.191	-93.559	-257.750
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	12.290	74.021	86.311
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-176.482	-167.580	-344.062



Playa de La Antilla			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	231.594	332.627	564.222
TRANSPORTE NETO	-205.987	-159.785	-365.773
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	12.803	86.421	99.224
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-218.791	-246.206	-464.997
CERC $K_{K\&I,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	191.992	275.748	467.740
TRANSPORTE NETO	-170.763	-132.462	-303.226
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	10.614	71.643	82.257
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-181.378	-204.105	-385.483

Playa de Nueva Umbría			
CERC $K_{SPM_s}=0'39$	SWELL	SEA	TOTAL
TRANSPORTE BRUTO	262.440	326.591	589.031
TRANSPORTE NETO	-225.494	-177.046	-402.540
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	18.473	74.773	93.246
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-243.967	-251.818	-495.785
CERC $K_{K\&I,rms}=0'77$			
TRANSPORTE BRUTO	217562	270744	488307
TRANSPORTE NETO	-186935	-146771	-333705
TRANSPORTE POSITIVO TOTAL	15314	61987	77301
TRANSPORTE NEGATIVO TOTAL	-202248	-208758	-411006

4.3.1.3 Cálculo del transporte longitudinal: Desembocadura del río Guadiana – Flecha del Rompido (HIDMA 2011)

El plan Director elaborado por esta empresa para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar repite, algo más resumido, los cálculos del transporte longitudinal de sedimentos que se incluían en el informe suyo de 2000 para la misma Dirección General, siendo éstos:

Playa costa portuguesa:	50-100.000 m ³ /año
Playa de Isla Canela:	300-350.000 m ³ /año
Playa de Isla Cristina:	100-200.000 m ³ /año
Playa de La Antilla:	200-300.000 m ³ /año
Playa de Nueva Umbría:	300-400.000 m ³ /año

4.3.1.4 Resumen, comparación y análisis de los datos de transporte longitudinal

Los datos que se muestran en el apartado anterior, a simple vista, presentan grandes diferencias; pero un análisis más profundo de ellos indica todo lo contrario.

Si se comienza por la zona más al oeste que abarca este informe técnico: la costa oriental del Algarve portugués, solamente existen dos informes técnicos que hayan calculado su transporte; uno es el realizado por la empresa Hidma (2000) y otro este informe técnico. El primero de ellos da una horquilla de valores comprendida entre 50.000 y 100.000 m³/año (Figura 4.31), y el segundo 61.519 m³/año (Figura 4.32), dirigidos ambos hacia levante. Por tanto puede considerarse un valor estimado de 65.000 m³/año como transporte longitudinal en esta zona.



CEDEX

Los valores dados al transporte longitudinal por la empresa Hidtma en la desembocadura y prodelta (Figura 4.31), no tienen contraste con ningún informe técnico; por lo que se pueden considerar, a priori, como ciertos.

Frente a Isla Canela, los valores que presentan los diferentes informes técnicos son muy variados; si bien, en la mayoría de las ocasiones el cálculo realizado es el teórico, no suponiéndose existencia de bajos que minoran la energía de oleaje que alcanza la costa; dando valores entre 450.000 y 190.000 m³/año, oscilando mucho al ir girando la costa. Estos valores están acordes con los obtenidos en este informe técnico que oscilan entre un máximo de 280.000 m³/año a 197.000 m³/año. Cuando el cálculo se realiza teniendo en cuenta los bajos los valores cambian significativamente dando valores entre 10.000 y 20.000 m³/año la empresa Hidtma (Figura 4.31), y 82.000 m³/año en un anterior informe técnico del CEDEX, siendo estas cifras las únicas discrepantes halladas.

En Isla Cristina, junto a la desembocadura del río Piedras, los valores dados por la empresa Hidtma (Figura 4.31), entre 50.000 y 100.000 m³/año están acordes con los calculados en este informe técnico, de 95.000 m³/año.

Finalmente, a lo largo de la Antilla y la Flecha del Rompido, este informe técnico va dando valores progresivamente mayores; oscilando entre 311.000 m³/año en la Antilla y 403.000 m³/año en la punta de la Flecha (Figura 4.32), y en este lugar la empresa Hidtma (Figura 4.31) da una horquilla de valores comprendida entre 300.000 y 400.000 m³/año, acordes totalmente con los calculados en este informe técnico.

4.3.2 Transporte longitudinal de sedimentos. Tramo II: Flecha del Rompido – Desembocadura del río Guadalquivir

La caracterización y cálculo del transporte sólido litoral longitudinal en este tramo de levante se ha hecho; realizando una recopilación de los cálculos de las distintas fuentes, cuyos resultados se resumen a continuación.

1- CEDEX 1979

Como se ha indicado anteriormente, es un informe técnico general de las provincias de Huelva y Cádiz atlántico, por lo que no posee gran detalle en su análisis. El cálculo de transporte longitudinal se realizó utilizando la malla de datos de oleaje visuales, que entonces se poseía, comprendida entre los meridianos y paralelos siguientes:

Latitud	36° 18' N y 38° N
Longitud	6° 42' O y 7° O

Para determinar el transporte en Punta Umbría usaron el transporte determinado por el LINEC de Lisboa que arrojaba un transporte sólido litoral longitudinal neto hacia levante de 150.000 m³/año. Aplicaron la fórmula del CERC con los datos de oleaje indicados, arrojando las siguientes cifras:

Bruto hacia poniente: 200.000 m³/año
Bruto hacia levante: 470.000 m³/año
Bruto total: 670.000 m³/año
Neto hacia levante: 270.000 m³/año

A cuyos resultados se aplicó un coeficiente de rectificación del 0,7, dando un valor para el transporte longitudinal en la zona de la flecha Punta Umbría de 190.000 m³/año.

Los siguientes puntos de cálculo del transporte longitudinal de sedimentos se efectuaron en dos lugares de la playa de Castilla; concretamente en la playa de la Higuera y en la playa del Coto de Doñana:

Torre de la Higuera:

Bruto hacia poniente: 45.000 m³/año
Bruto hacia levante: 595.000 m³/año
Bruto total: 640.000 m³/año
Neto hacia levante: 550.000 m³/año
Neto hacia levante (corregido): 390.000 m³/año

Torre Zalabar (Coto de Doñana):

Bruto hacia poniente: 225.000 m³/año
Bruto hacia levante: 270.000 m³/año
Bruto total: 525.000 m³/año
Neto hacia levante: 15.000 m³/año
Neto hacia levante (corregido): 10.000 m³/año

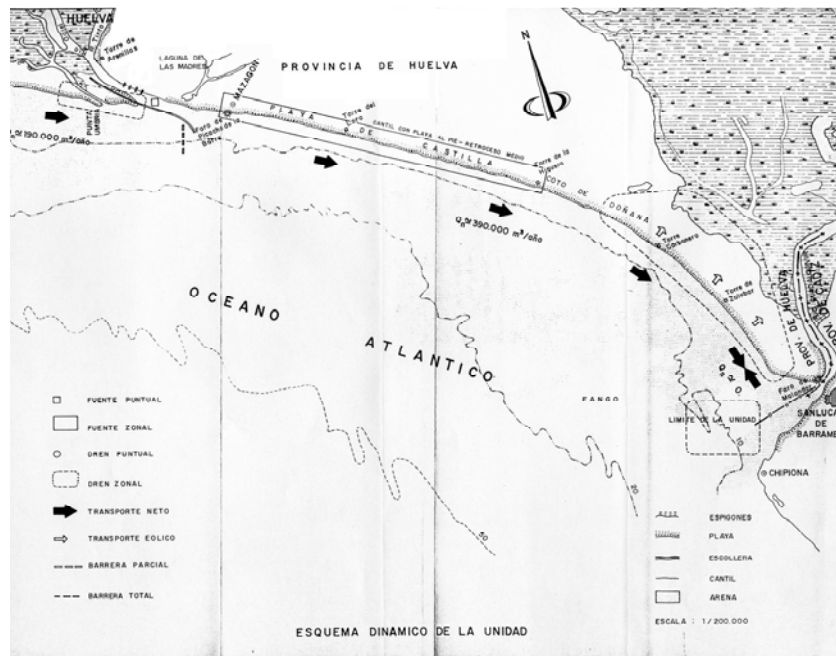


Figura 4.34: Transportes longitudinales de sedimentos en el tramo desde la Flecha del Rompido hasta la desembocadura del río Guadalquivir (CEDEX 1979)

2- MEDINA (CEDEX) 1991

En este informe técnico del CEDEX (1991) para la entonces Dirección General de Puertos Costas, se hicieron los cálculos con los datos visuales y utilizando la fórmula del flujo de energía del CERC. Los resultados se efectuaron calculando el transporte longitudinal con oleajes tipo SEA, tipo SWELL y, finalmente, usando conjuntamente ambos. Cuyos resultados por sectores se muestran en la figura adjunta.

Los resultados finales arrojan los siguientes resultados para Punta Umbría:

SEA: 114.530 m³/año en dirección a levante
SWELL: 190.444 m³/año en dirección a levante
TOTAL TRANSPORTE NETO: 304.974 m³/año en dirección a levante



CEDEX

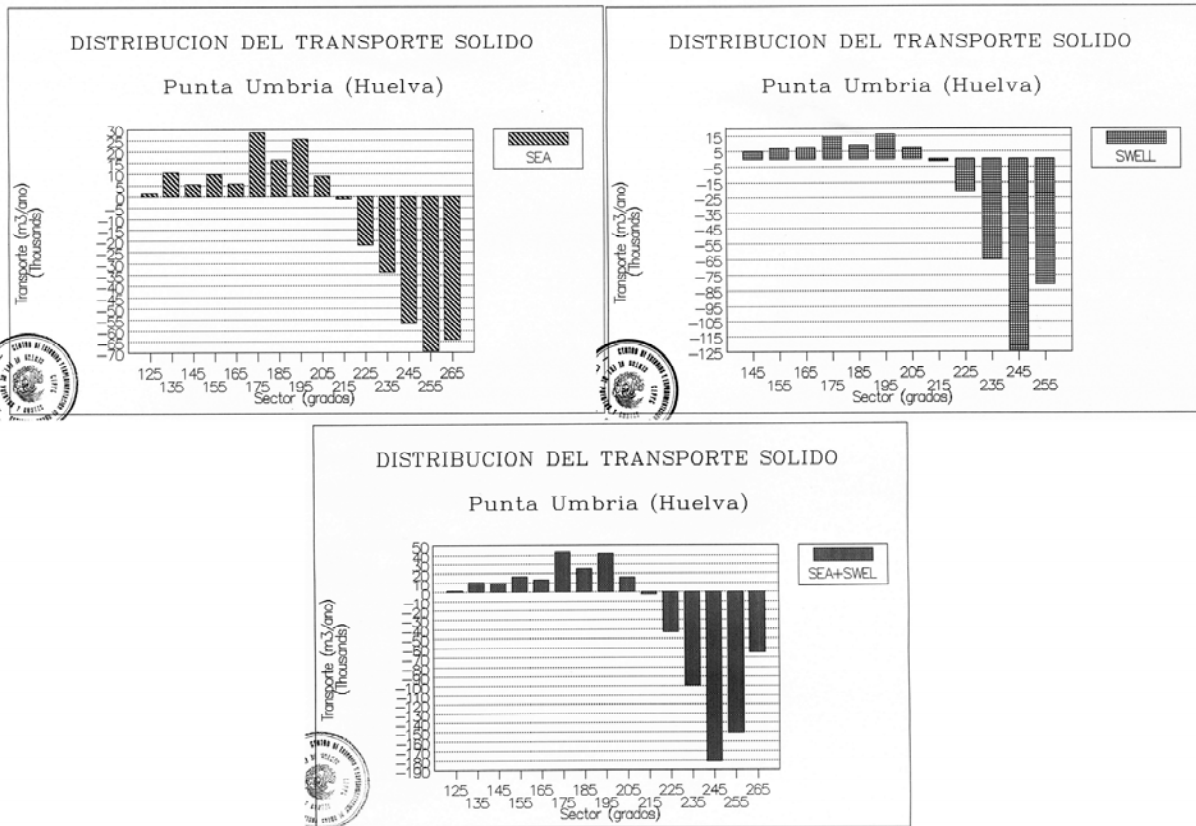


Figura 4.35: Cálculo del transporte longitudinal de sedimentos en Punta Umbría por sectores (CEDEX 1991)

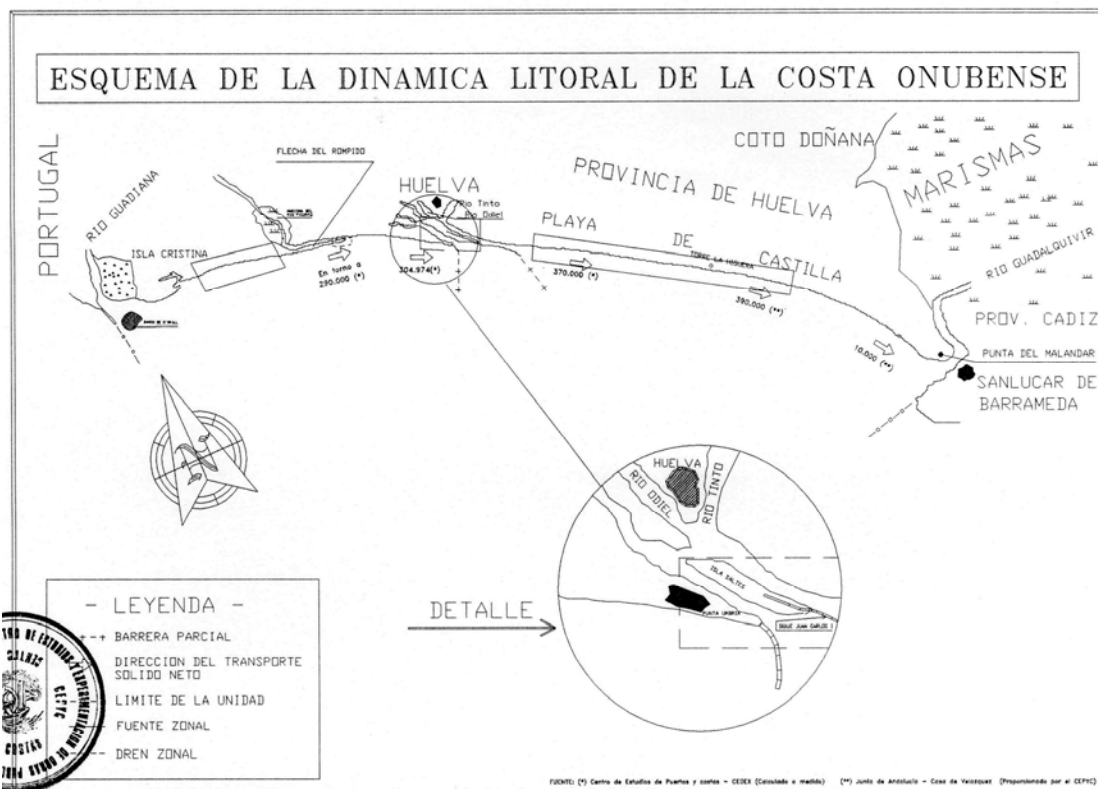


Figura 4.36: Transporte de sedimentos a lo largo de la costa onubense (CEDEX 1991)

3- PEÑA (CEDEX) 1991

En este informe técnico del CEDEX (1991) para la entonces Dirección General de Puertos Costas, se hicieron los cálculos con los datos visuales y utilizando la fórmula del flujo de energía del CERC. Los cálculos se efectuaron en tres puntos de la costa: Punta Umbría, Flecha de Huelva y playa de Castilla, con los límites y oleajes que se muestran en la figura adjunta.

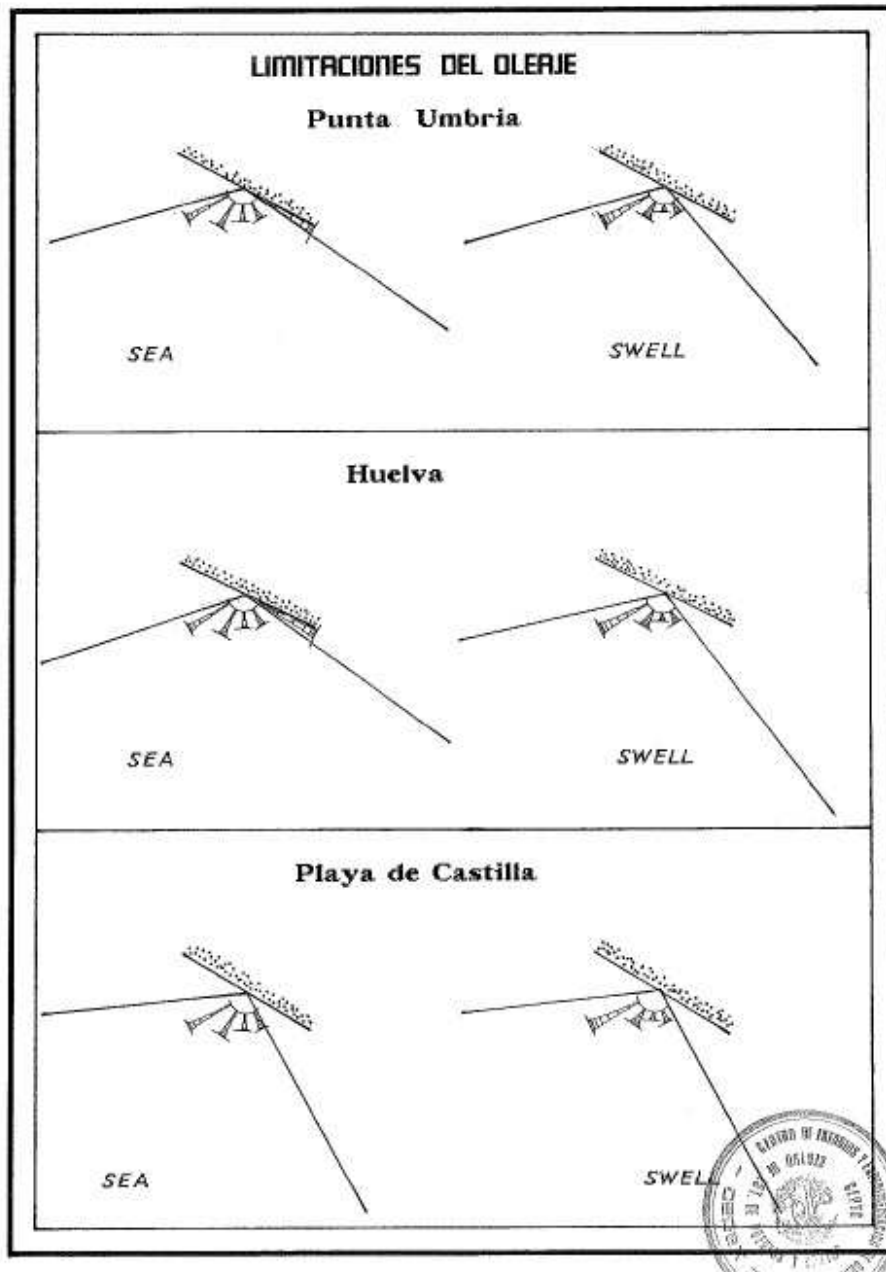


Figura 4.37: Límites y direcciones de oleaje que inciden en Punta Umbría, Huelva y playa de Castilla (CEDEX 1991)

Los resultados de estos cálculos se muestran a continuación y se presentan las gráficas que se adjuntaban en el citado informe técnico y las tablas que vienen referenciadas en miles de metros cúbicos:



CEDEX

TRANSPORTE SOLIDO LITORAL

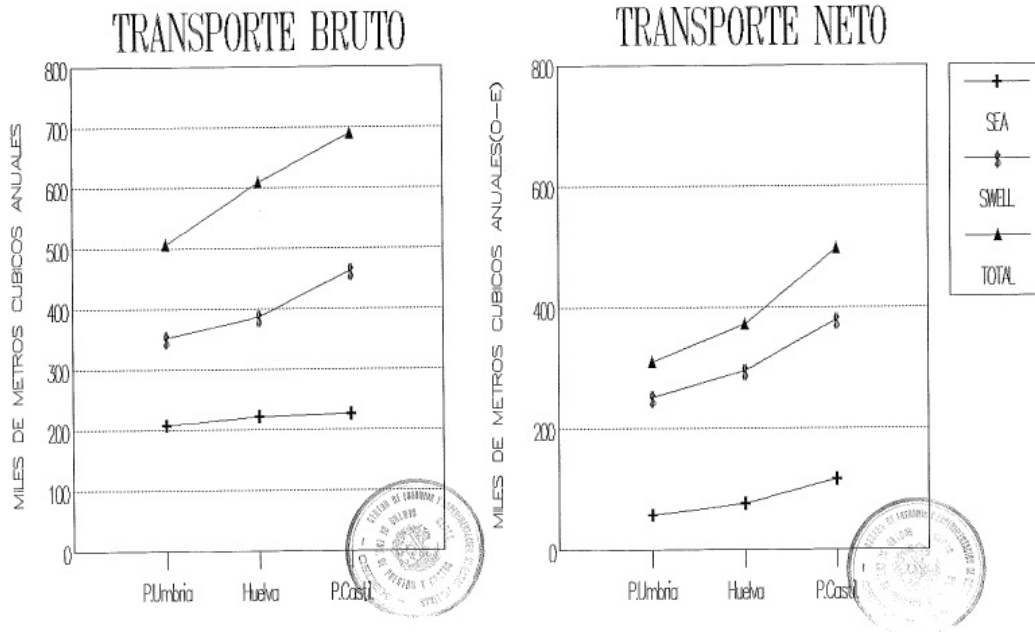


Figura 4.38: Transportes longitudinales de sedimento en Punta Umbría, Huelva y playa de Castilla (CEDEX 1991)

PUNTA UMBRIA	SEA	SWELL	TOTAL
Transporte bruto	207,93	352,41	506,34
Transporte neto	58,27	251,79	310,06
HUELVA	SEA	SWELL	TOTAL
Transporte bruto	222,96	386,36	609,32
Transporte neto	76,59	295,66	327,25
PLAYA DE CASTILLA	SEA	SWELL	TOTAL
Transporte bruto	226,38	463,67	690,05
Transporte neto	116,88	380,32	497,2

4- ENRIQUEZ (HIDTMA S.L.) 2000

Este informe técnico, como estudio integral de toda la costa de Huelva, asistencia técnica para la entonces Dirección General de Costas –hoy Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar-, va calculando el transporte de sedimentos a lo largo de toda la costa. El último punto que determina el transporte es Punta Umbría, dándole un valor entre 50.000 y 100.000 m³/año por año:

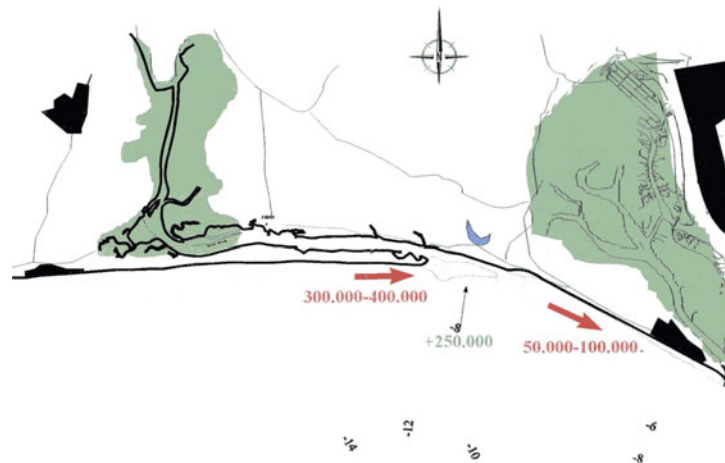


Figura 4.39: Transporte longitudinal de sedimentos en la Flecha del Rompido y Punta Umbría (HIDMA 2000)

Finalmente se inserta una figura con el resumen de todos los datos del transporte longitudinal neto de sedimentos entre la Flecha del Rompido y la desembocadura del río Guadalquivir.

5 – HIDTMA (2011)

El plan Director elaborado por esta empresa para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar repite, algo más resumido, los cálculos del transporte longitudinal de sedimentos que se incluían en el informe suyo de 2000 para la misma Dirección General, siendo éstos:

Playa Punta Umbría:	50-100.000 m ³ /año
Playa Flecha de Huelva:	50.000 m ³ /año
Playa de Castilla:	100-200.000 m ³ /año
Punta de Doñana:	100.000 m ³ /año

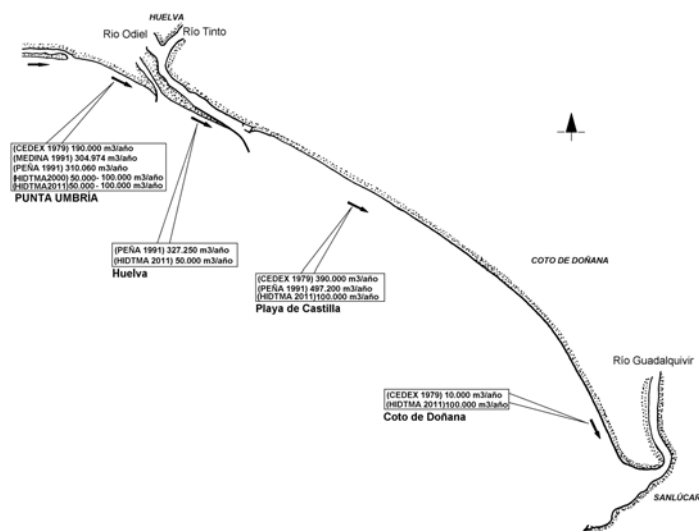


Figura 4.40: Transporte longitudinal neto de sedimentos entre la Flecha del Rompido y la desembocadura del río Guadalquivir

4.4 PROFUNDIDAD DE CIERRE EN LA COSTA DE HUELVA

Recientemente se ha realizado un informe técnico (CEDEX 2011) para caracterizar la profundidad de cierre a lo largo de las costas españolas; elemento muy importante para conocer la profundidad a la cual se mueve significativamente el material a lo largo de la costa.

El primer punto que debe tenerse en cuenta es en concepto de profundidad de cierre y su evolución en el tiempo. Para ello se seguirán los criterios adoptados por Nicholls et al (1998) en el programa PACE. Esto es se analizará en las diversas escalas de tiempo. Siendo D_c la PdC real, a es el coeficiente de regresión, y $d_{l,t}$ es la profundidad de cierre según la fórmula de Hallermeier (1981), Birkemeier o CUR en su caso:

1 - Pequeña escala, para eventos de temporada, con la fórmula teórica de comparación:

$$D_c = k H^{0,67}$$

Donde H es la media de alturas de oleaje de 12 horas de excedencia, y k es una constante que toma los siguientes valores, dependiendo de la diferencia entre perfiles que consideramos para determinar la profundidad de cierre: 2,1 para 20 cm; 2,8 para 10 cm; y 3,4 para 5 cm.

2 – Media escala, con periodos de tiempo entre un año y una década, con la fórmula teórica de comparación:

$$D_c = a d_{l,t}$$

3 – Gran escala, con periodos de tiempo que van desde una década a un siglo. Al no indicar fórmula alguna de comparación, ésta se tomará, en primera instancia igual que la anterior:

$$D_c = a d_{l,t}$$

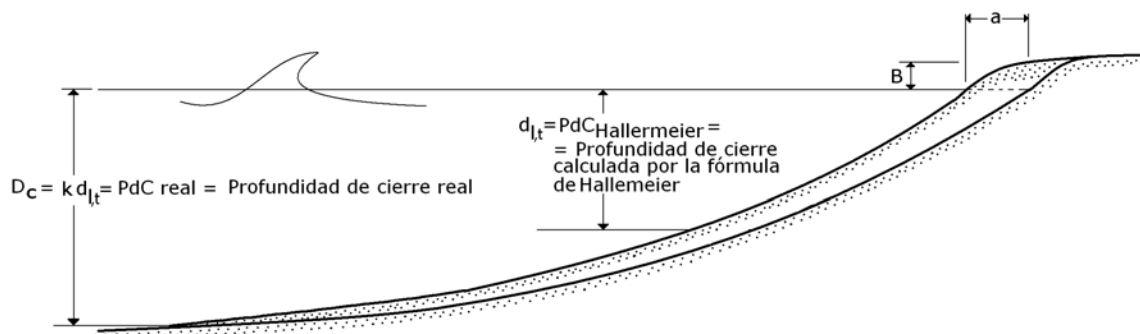


Figura 4.41: Concepto de profundidad de cierre

Una de las playas elegidas en este estudio fue la del Rompido –playa Nueva Umbría-. Para determinar la profundidad de cierre a gran escala, largo término, de esta playa, situada en Lepe en Huelva se utilizaron las cartas náuticas:

- N° 929, levantada entre 1868-70, por la Comisión Hidrográfica, escala 1:19.500

- N° 441 A, levantada en 1983, por el Instituto Hidrográfico de la Marina, escala 1:25.000
- N° 441 A, levantada en 2004, por el Instituto Hidrográfico de la Marina, escala 1:25.000

Lo que supone una diferencia de años de 113 y 134 entre la primera de las batimetrías y las otras dos. Se ha tomado como punto de referencia de la cabeza del perfil de control el situado en las coordenadas: 37° 13'N y 7° 12'W.

Como se puede apreciar; la línea de costa en esos 134 años ha retrocedido de manera significativa, en una distancia algo superior a 50 metros. Esta circunstancia que parece contradictoria con el enorme crecimiento que ha experimentado la flecha, no es así: la forma morfológica sedimentaria ha ido creciendo y a su vez se va estrangulando en su base, de ahí el nombre de “rompido”, dado que cada cierto tiempo este estrangulamiento produce una rotura en la flecha que hace comenzar de nuevo su ciclo de crecimiento. Esta evolución se corrobora con los bajos que se aprecia en el perfil: Se ha tomado éste hasta la profundidad de 30 m y se observa como los sedimentos han ido depositándose; reduciéndose considerablemente la profundidad; si bien, se ha supuesto que este depósito obedezca a diferentes agentes no exclusivamente al oleaje, éste se ha supuesto que sea el responsable directo de los movimientos de material más cercanos a la costa y, por tanto, se ha supuesto la profundidad de cierre a gran escala, o largo término, aproximadamente a los 11 m: primer cruce de las tres batimetrías utilizadas.

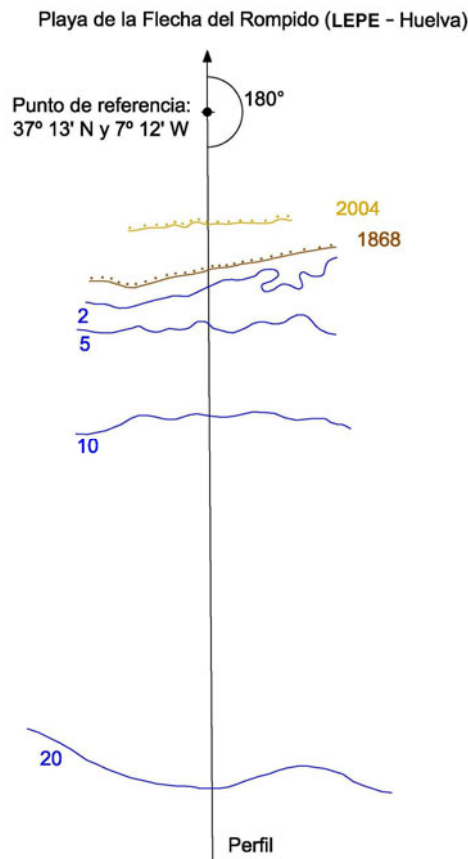


Figura 4.42: Situación del perfil y punto de referencia utilizados en la playa de Nueva Umbría en la Flecha del Rompido en Lepe, para determinar la PdC a gran escala, largo término (CEDEX 2011)

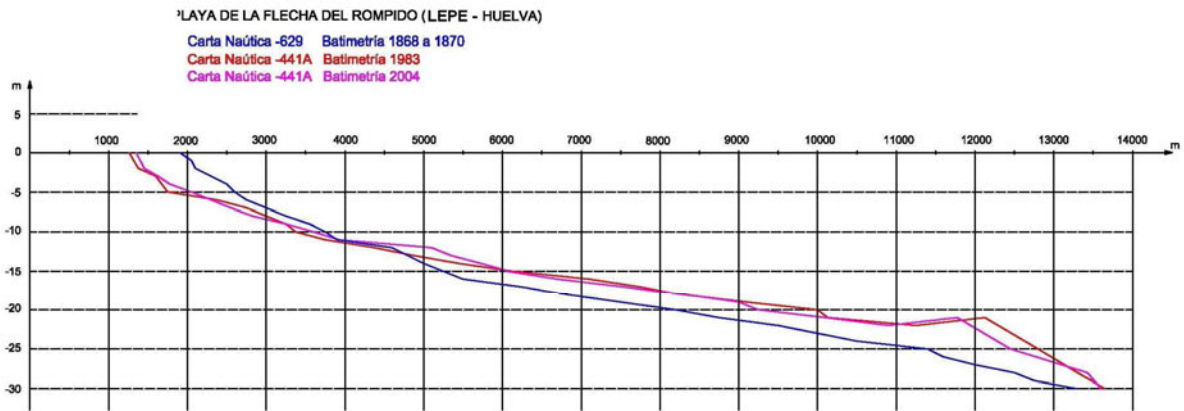


Figura 4.43: Perfil de la playa de La Flecha del Rompido en Lepe, en el que se aprecia los cambios en los depósitos en el fondo, especialmente significativos entre 1868 y 1988, aunque de éstos habría que eliminar los errores de realización de batimetría de la primera de ellas, especialmente (CEDEX 2011)

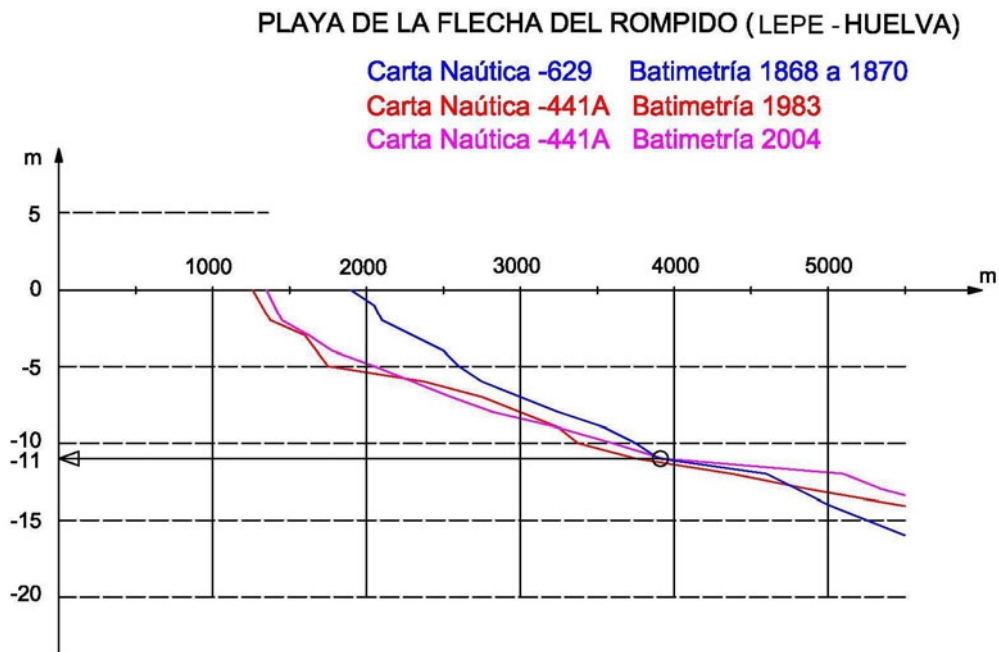


Figura 4.44: Detalle del perfil de la playa de La Flecha del Rompido en Lepe, para caracterizar la PdC a gran escala, largo término (CEDEX 2011)

Finalmente, se inserta la tabla de los coeficientes a aplicar, del citado informe, que sirve para determinar la profundidad de cierre en las costas españolas, ésta sería la denominada “suratlántico”, dependiendo de la fórmula utilizada que también se inserta.

A la hora de determinar la profundidad de cierre en un punto de la costa española, se debe aplicar la fórmula propuesta por el programa europeo PACE (Nicholls et al, 1998):

$$D_c = k d_{l,t}$$

Siendo $d_{l,t}$ la profundidad de cierre calculada por la fórmula de Hallermeier (1981), Birkermeier (1985) o el CUR (1987); esto es:

- Hallermeier (1981) ($k = a$) $d_{l,t} = 2,28 H_{e,t} - 68,5 (H_{e,t}^2/g T_{e,t}^2)$
- Birkemeier (1985) ($k = b$) $d_l = 1,75 H_e - 57,9 (H_e^2/g T_e^2)$
- CUR (1987) ($k = c$) $d_l = 1,75 H_{s 0,137}$

Donde la profundidad de cierre es la predicha para un periodo de t años sobre la bajamar media; la altura de ola $H_{e,t}$ es la significativa no rota que es excedida 12 horas por t años, $(100/730 \cdot t)\%$; y $T_{e,t}$ es el periodo de la ola asociado.

Los coeficientes de la fórmula de predicción de la profundidad de cierre, D_c , dependen de la fórmula elegida -Hallermeier (1981), Birkermeier (1985) o el CUR (1987)- y del periodo de tiempo considerado para calcularla. Habiéndose determinado éstos en dos horquillas de tiempo, consideradas en el programa europeo PACE:

Media escala, o corto término: De un año a una década

Gran escala, o largo término: Entre una década y un siglo

COEFICIENTES k PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD DE CIERRE REAL USANDO FORMULACIONES TEÓRICAS						
ZONA	LARGO TÉRMINO			CORTO TÉRMINO		
	Hallermeier a	Birkemeier b	CUR c	Hallermeier a	Birkemeier b	CUR c
I - NORTE	1,69	2,21	2,04	1,42	1,85	1,75
II – SUR (atlántico) (mediterráneo)	1,62	2,13	1,89	-	-	-
	2,00	2,60	2,30	1,29	1,71	1,56
III – ESTE	1,65	2,18	1,90	1,80*	2,62*	2,29*
IV – BALEARES	1,97	2,49	2,12	-	-	-
V - CANARIAS	2,00	2,50	2,20	-	-	-

Como puede apreciarse, la profundidad de cierre en estas costas se encontraría situada en torno a 11 m de profundidad para la bajamar, pudiéndose considerar este valor tanto para profundidad de cierre a corto término como a largo término.

4.5 TRANSPORTE EÓLICO

El frente de la costa onubense tiene una actividad eólica importante; siendo mayor cuanto más nos aproximamos a su extremo de levante. Basta recordar el frente de dunas existentes en la flecha del Coto de Doñana. También esa actividad se hace patente en las cercanías del dique de Huelva. Tal es así que ha sido objeto de análisis en uno de los informes técnicos realizados en estas costas, concretamente del Puerto de Huelva en el CEDEX (1991). En el presente informe técnico se resumen los resultados del cálculo del transporte eólico que contiene el citado trabajo.



Figura 4.45: Actividad eólica sobre el dique de Juan Carlos I de Huelva (CEDEX 1991)

Los datos de viento fueron facilitados por el entonces Instituto Nacional de Meteorología –hoy Agencia Estatal de Meteorología- de su estación en tierra.

Se obtuvo la siguiente expresión de la velocidad del viento:

$$U_z = 5,75 U_* \log (8/10 d) + 894 d. \text{ (cm/sg)}$$

Siendo U^* la velocidad de corte, que toma la expresión para 26 m de altura, que es la elevación de la estación desde donde se tomaron los datos:

$$U_* = 0,044 U_{2600} - 11,8 \quad \text{(cm/sg)}$$

Y la velocidad crítica de coste viene expresada por:

$$U_{*c} = A \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} g d \right)^{1/2}$$

Siendo:

A = coeficiente empírico de valor aproximado 0,1

ρ_s = densidad de la arena (2,87 gr/cm³)

ρ_a = densidad del aire (0,125.10⁻³ gr/cm³)

g = aceleración de la gravedad (981 cm/sg)

d = diámetro del grano (0,03 cm)

Sustituyendo, da un valor de la velocidad crítica de corte de 82,2 cm/s = 2,92 km/h

A partir de ese valor de la velocidad, el grano podía moverse; si bien, aplicando la ecuación de Kawamura para el transporte eólico, éste no comienza a ser significativo hasta que la velocidad de corte no alcance 20 cm/s, lo que significa una velocidad en la estación de medida de 26 km/h.

En las siguientes figuras se presentan, la rosa, las velocidades de la estación de medida y frecuencias para las direcciones críticas del S, SW y W; y el transporte eólico resultante.

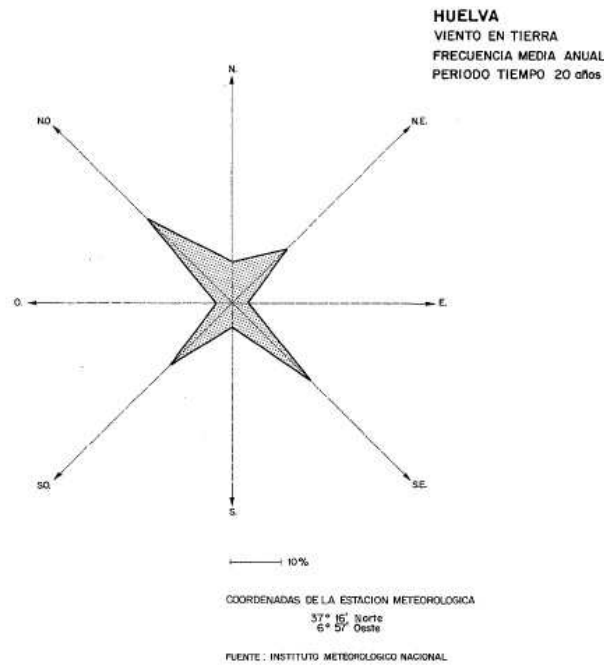


Figura 4.46: Rosa de los vientos de la estación en tierra de la Agencia Estatal de Meteorología en Huelva (CEDEX 1991)

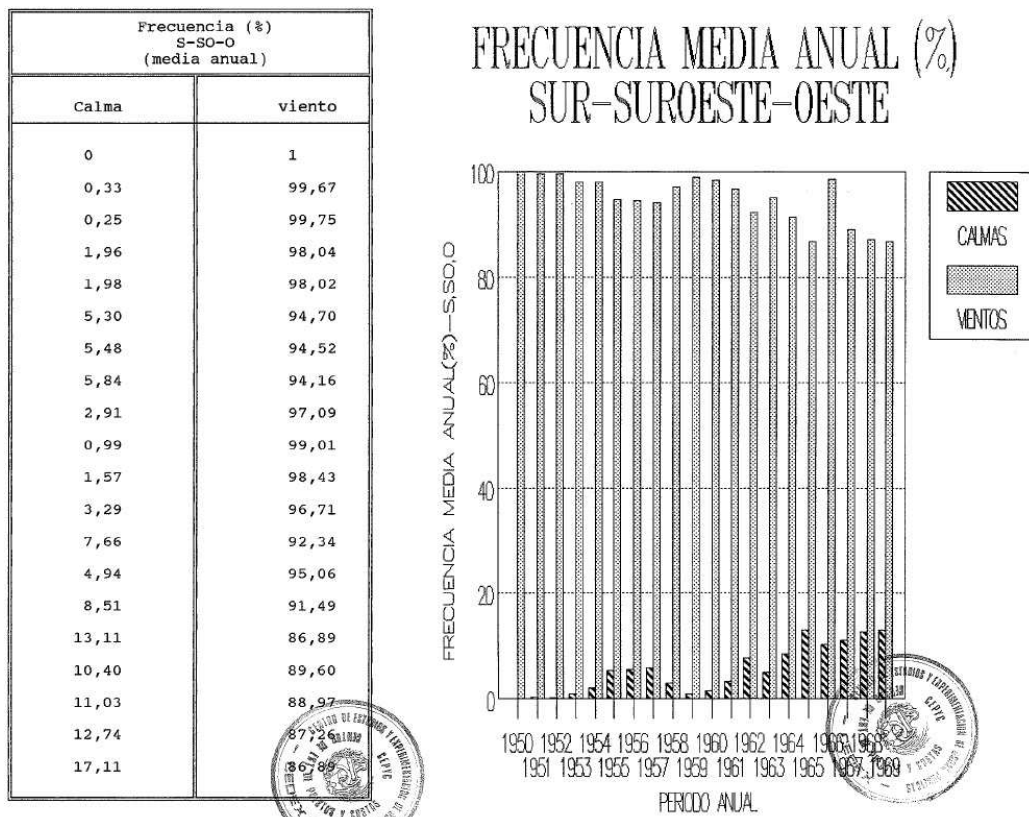


Figura 4.47: Porcentaje de frecuencias de presentación del viento en las direcciones S, SW y W (CEDEX 1991)



CEDEX

	Qm (kg/m)			
	26,28 km/h	29.61 km/h	> 61 km/h	
u*	21,2	43,2	65,2	
q	0,27	7,2	2,5	
AÑOS				TOTALES
1950	440,85	2912,03	374,49	3727,37
1951	459,55	6449,83	373,25	7282,63
1952	467,99	4410,92	-	4878,91
1953	396,52	5498,44	-	5894,96
1954	408,33	6554,49	-	6962,82
1955	375,35	6945,31	-	7320,66
1956	340,23	1733,03	-	2073,26
1957	316,09	710,88	-	1026,97
1958	329,86	1675,43	1090,78	3096,07
1959	352,36	3523,92	-	3876,28
1960	358,29	4883,35	-	5241,64
1961	324,65	5110,93	-	5435,58
1962	287,57	3684,89	-	3972,46
1963	369,09	2973,23	-	3342,32
1964	329,3	8190,01	-	8519,34
1965	319,80	4217,11	-	4536,91
1966	337,02	5025,09	335,54	5697,65
1967	345,44	2686,79	-	3032,23
1968	328,22	4893,86	-	5222,08
1969	323,31	3935,97	650,79	4910,07

TRANSPORTE EOLICO FLECHA DE HUELVA (1950-1969)

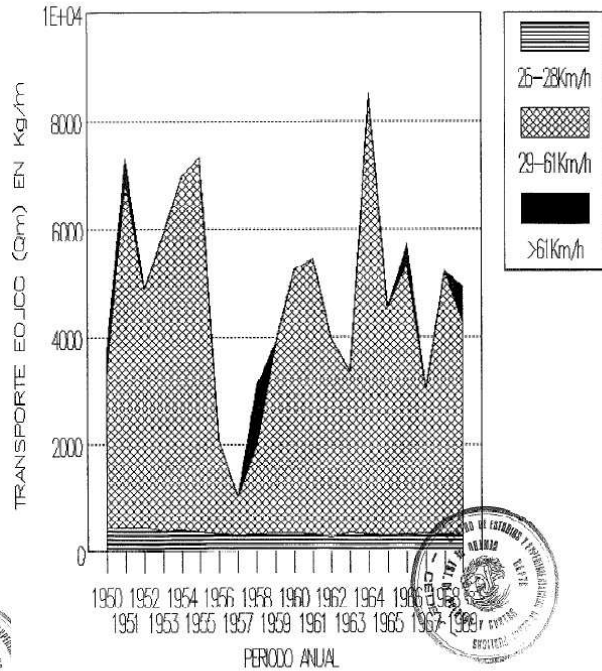


Figura 4.48: Transporte eólico en las direcciones S, SW y W en Huelva (CEDEX 1991)

5. EVOLUCIÓN DE LA COSTA

La consecuencia directa de la dinámica litoral, y actividad sedimentaria de las fuentes, sumideros y depósitos, es la evolución que a lo largo del tiempo se ha ido produciendo a lo largo de la costa onubense. El conocimiento de esta evolución suele ser imprescindible para poder predecir, con un cierto grado de exactitud, los previsibles cambios en la configuración de las formas geomorfológicas del litoral de Huelva. Pero el periodo al que debe retrotraerse en el estudio de la evolución depende de diversos factores y su estudio conlleva el uso de metodologías diferentes. En este capítulo del informe técnico se dedica a caracterizar la evolución que se ha ido produciendo a lo largo del tiempo, hasta la actualidad, de la costa de Huelva.

Antes de entrar en las fases evolutivas que nos irán mostrando las transformaciones que en la costa de Huelva han ido realizándose, se debe dar un repaso de las fuentes utilizadas para caracterizar esta evolución ya que la rigurosidad de ellas es imprescindible para una correcta interpretación.

Como en los capítulos anteriores se ha ido señalando, los datos y metodologías que aquí se muestran se basan en las que en su día se presentaron en los informes del CEDEX que han servido de sustento para este trabajo.

5.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información dependen muy mucho de la metodología que deba emplearse en cada uno de los estadios que se estudia la evolución como en los apartados siguientes de este capítulo se verá. Con carácter general; las fuentes de información que pueden emplearse en un estudio de evolución costera se pueden clasificar en dos grandes grupos, y en ellos en ellos los elementos a considerar son los siguientes:

A. Directa:

- Cartografía
- Levantamientos topo-batimétricos
- Fotografías aéreas verticales
- Planos de evolución de la línea de costa

B. Indirecta:

- Estudios geomorfológicos
- Estudios hidrodinámicos y sedimentarios
- Fotografías oblicuas, panorámicas y horizontales

5.1.1 Fuentes cartográficas

La Cartografía analizada y que se ha empleado en el estudio y caracterización de la evolución de la costa de Huelva, desde la desembocadura del río Guadiana hasta la desembocadura del río Guadalquivir, proviene de las siguientes fuentes:

1. Instituto de Cartografía de Andalucía (Sevilla)
2. Museo Naval de Madrid



CEDEX

3. Atlas de las costas y puertos españoles de 1634 (Felipe IV)
4. Archivo de Simancas (Valladolid)
5. Instituto Hidrográfico de la Marina (Cádiz)

5.1.2 Levantamientos topo-batimétricos

Los levantamientos topo-batimétricos que se han utilizado lo realizaron las siguientes entidades y años de levantamiento:

1. Instituto Hidrográfico de la Marina: Cartas Náuticas de los años 1865-68, 1944, 1952, 1964, 1982...
2. Carta náutica portuguesa de 1970-71
3. Geocar, S.A.: 1987
4. Hidra, y Cartografía y Servicios, S.A.: 1998
5. Puerto Autónomo de Huelva: 1986

5.1.3 Fotografías aéreas verticales

Las fotografías aéreas verticales con que se ha contado provienen de los archivos de las siguientes entidades y años de vuelo:

1. Servicio Geográfico del Ejército: 1956
2. Aeropost: 1973
3. CEDEX: 1981 y 1995
4. Instituto Geográfico Nacional: 1986
5. Instituto de Cartografía de Andalucía: 2000
6. Google Earth

5.1.4 Planos de Evolución de la Línea de Costa

Los Planos de Evolución de la Línea de Costa utilizados provienen del banco de datos del CEDEX, que sucesivamente ha ido restituyendo gran parte de la línea de orilla del litoral español, a base de vuelos fotogramétricos propios o de otras entidades, que en la costa de Huelva son los vuelos fotogramétricos indicados en el apartado anterior, restituidos y cartografiados por la empresa Intop, S.A. para el CEDEX que ha supervisado el control y calidad de los trabajos.

Así mismo, se realizaron planos de evolución específicos para los estudios del CEDEX de 1991, basados todos ellos en las diversas líneas de orilla en bajamar que aparecían en las diversas cartas náuticas usadas, que en muchos casos ascendía a cuatro o más.

También se han usado las líneas de evolución que aparecen en los trabajos de la empresa HIDTMA (2000).

5.1.5 Estudios geomorfológicos

Los estudios geomorfológicos con los que se ha contado son los siguientes:

1. Morales (1993, 1994, 1995)



2. Dabrio et al. (1982, 1984)
3. Hidtma, S.L. (1997, 2000)
4. Junta de Andalucía y M.A.O.T. de Portugal (2001)
5. Peña (2011)

Son de especial significado todos aquellos que estudiaron el estado en que se hallaba la costa onubense en la antigüedad; ya basado en la evolución geomorfológica –1 y 2- , como los basados en la interpretación documental antigua – 5 -.

5.1.6 Estudios hidrodinámicos

El único estudio hidrodinámico que se ha utilizado proviene de la tesis doctoral de Morales y los artículos publicados a raíz de ella; aparte de los que se presentan en los informes del CEDEX de 1991.

5.1.7 Fotografías aéreas oblicuas, panorámicas y horizontales

Las fotografías aéreas oblicuas, panorámicas y horizontales que se han usado en este informe técnico provienen todas de los fondos del CEDEX y de las fotografías realizadas en las diversas campañas de tomas de datos que se han ido tomando a lo largo del tiempo por técnicos del CEDEX.

5.2 ETAPAS EVOLUTIVAS

Como se ha indicado en el apartado anterior, el estudio de la evolución de la costa de Huelva, desde la desembocadura del río Guadiana hasta la desembocadura de río Guadalquivir, se ha realizado siguiendo la metodología apuntada por Rambaud et al. (2001) y Peña et al. (2002), en la cual se distinguen tres estadios para el estudio de evolución de las costas:

1. Evolución en un largo plazo de tiempo (antigua)
2. Evolución en un medio espacio de tiempo (pasado)
3. Evolución en un corto plazo de tiempo (reciente)

Estos tres adjetivos, corto, medio y largo, son muy genéricos, por lo tanto, se debe definir cada uno de estos tres grupos, no solo en función del periodo de años abarcado en cada estudio, sino, más bien, en función de la fiabilidad y disponibilidad de las fuentes de consulta.

Por lo que los estudios de evolución a corto plazo son aquellos que se realizan empleando una cartografía bien referenciada y abarcando un período de tiempo máximo de 100 años. Los de evolución a medio plazo son los que para su ejecución utilizan planos y mapas de antigüedad mayor a un siglo, que no están bien geo-referenciados y que presentan errores de una cierta importancia cuando los comparamos cartográficamente entre sí. Los estudios a largo plazo son aquellos en los que apenas se dispone de material cartográfico que cubra el periodo de tiempo a estudiar, teniendo que buscar información alternativa mediante la adopción de la metodología interdisciplinar, que tal y como indican los autores antes mencionados: “El primer aspecto importante a la hora de iniciar la investigación de un proceso evolutivo en la costa a largo plazo



es saber de qué fuentes se dispone, su fiabilidad y el empleo que se puede hacer de *ellas*. Dentro de su diversidad se pueden clasificar de la forma siguiente:

- a. Formaciones geológicas
- b. Estructuras geomorfológicas
- c. Restos arqueológicos
- d. Descripciones escritas
- e. Otras fuentes gráficas antiguas
- f. Trabajos de campo... ”

En un estudio como en el que se aborda en este informe técnico es importante conocer la evolución que se ha ido produciendo en las diversas formaciones costeras singulares –estuario del río Guadiana, Flecha del Rompido, Flecha de Punta Umbría, Flecha de Huelva y desembocadura del río Guadalquivir- desde un largo espacio de tiempo, dado que los procesos que gobiernan estas formaciones así lo requieren.

5.3 EVOLUCIÓN EN LA ANTIGÜEDAD

Para conocer el estado en que se encontraban las costas de Huelva hace muchos años se ha recurrido a tres fuentes de información mencionadas anteriormente, que describirían su evolución desde años precedentes al comienzo de la Era Cristiana hasta el siglo XVII. Estas tres fuentes consultadas, en orden cronológico, son:

1. Theatrum Orbis Terrarum de A. Ortelius de 1601
2. Atlas de las costas y puertos españoles de 1634
3. Dabrio (1982)
4. Morales (1995)

La caracterización de las costas de Huelva en la antigüedad se irá haciendo a partir de los primeros datos, que comienzan en el 3000 aC (Morales 1995) y finalizan en el siglo XVII, con el Atlas de Pedro Texeira de 1634. Algunos de los casos solamente se circunscriben a la desembocadura del río Guadiana (Morales 1995); pero la evolución de esta desembocadura condiciona las demás del tramo de costa onubense.

La caracterización más antigua del entorno de la desembocadura del río Guadiana se debe a los trabajos de Morales (1995) que resumen las transformaciones producidas en el entorno de la desembocadura del Guadiana en tres estadios: 3000 aC, 1200 aC y 500 aC

En la introducción del trabajo de Morales (1995) se puede leer: “ ...El comienzo de las playas situadas al Sur de Ayamonte se sitúan en torno a 6500 años atrás, cuando finalizó un ascenso del nivel del mar marino de alrededor de 110 metros, conocido como trasgresión Flandriense (Zazo, 1980). En ese momento toda esta zona, hasta entonces continental, quedó convertida en una bahía poco profunda y conectada a la desembocadura del Guadiana, que comenzó a funcionar como estuario... ”.

Como se puede apreciar, los depósitos provenientes del río Guadiana se fueron distribuyendo en forma de cordones litorales hacia levante y hacia poniente. La actividad del oleaje hizo que a poniente los depósitos crecieran hasta formar el inicio de una flecha que se atisbaba en los prolegómenos de la historia onubense, mientras en el lado de levante se formaba una gran zona marismal protegida por los propios bajos depositados en la boca del río.

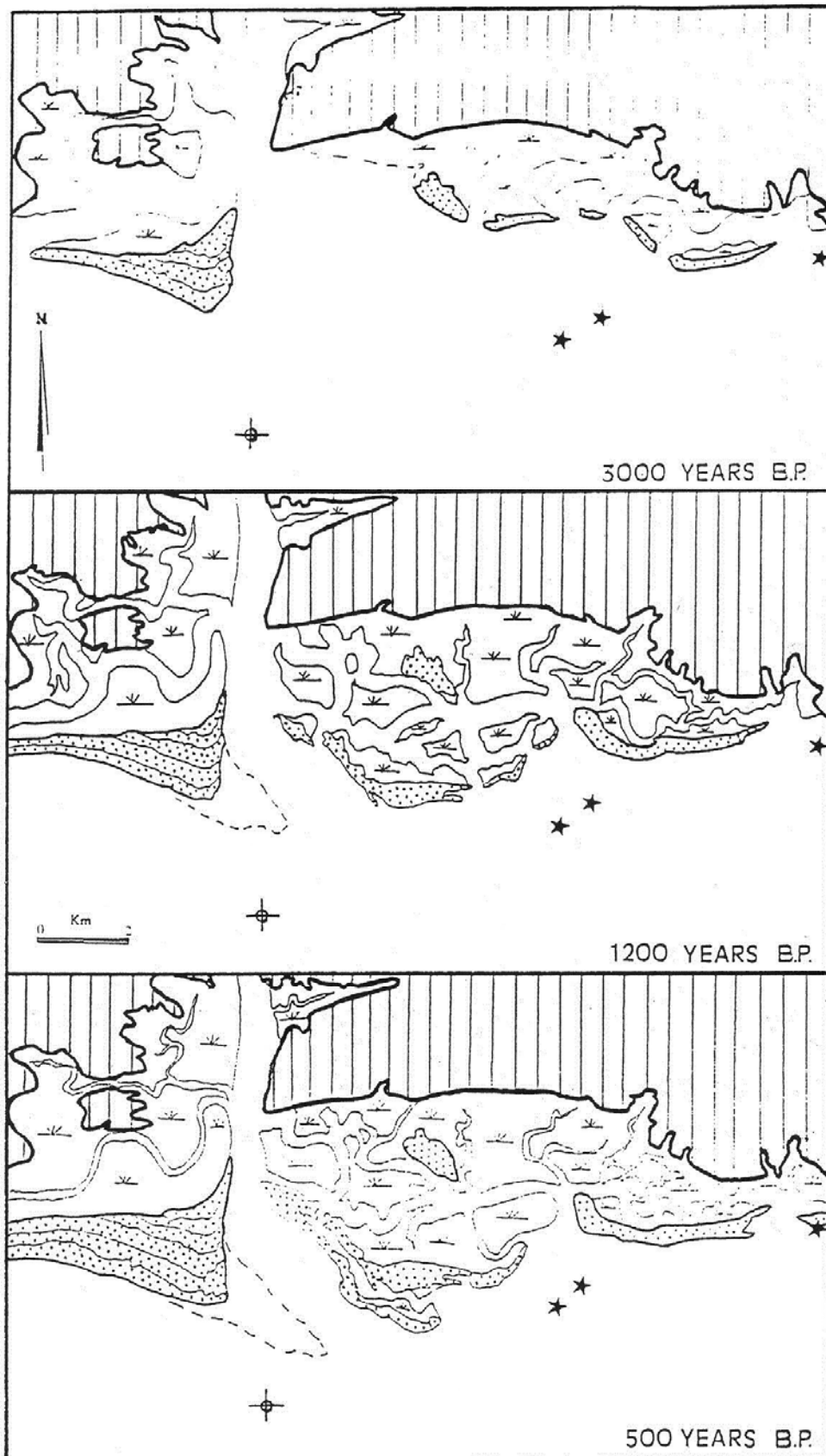
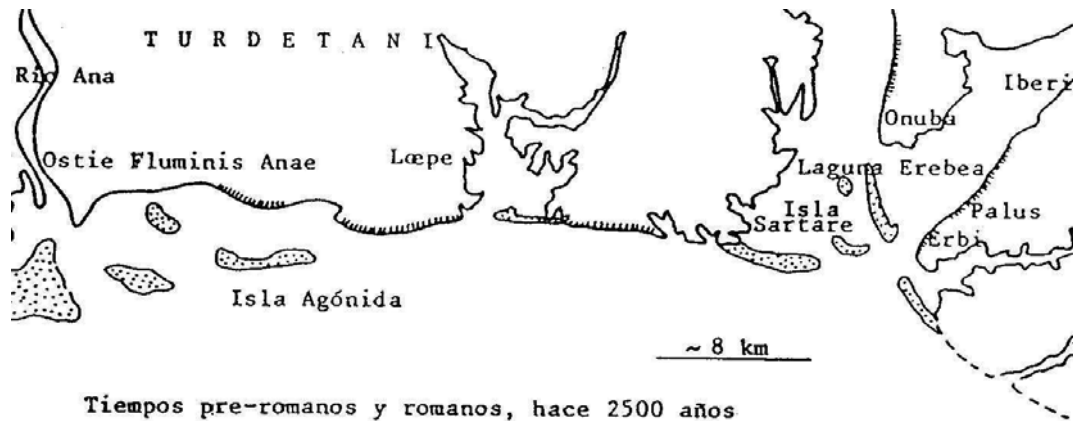


Figura 5.1: Evolución del estuario del río Guadiana desde el 3000 aC hasta el 500 aC (Morales 1995)

Los estudios de Dabrio (1982), complementan a los anteriores de Morales casi partiendo del estado final en que lo dejó éste, pero se extienden a todo el frente onubense hasta Huelva. La costa estaba tachonada de cordones o islas como: Isla Canela e Isla Cristina -isla Argónida- y se había comenzado a desarrollar los cordones litorales del Algarve frente a Santo Antonio en Portugal.



Tiempos pre-romanos y romanos, hace 2500 años

Figura 5.2: Aspecto que presentaban las costas de Huelva hace 2500 años (Dabrio 1982)

Este trabajo se puede complementar con los mapas que presenta Peña (2011) que se han mostrado en el capítulo 2. La costa oriental del tramo costero onubense también se encontraba en una situación muy diferente de la actual, como se muestra en la figura adjunta.

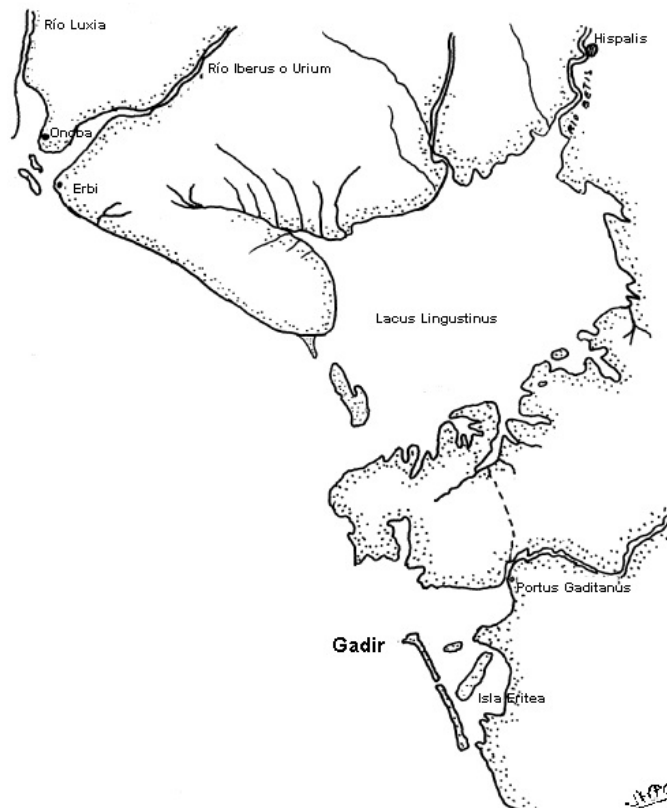


Figura 5.3: Situación de la costa onubense entre Huelva (Onoba) y la desembocadura del río Guadalquivir (Betis) en la antigüedad

Entonces, entre las desembocaduras de los ríos Odiel y Tinto –Luxia y Urium en aquel tiempo– se extendía lo que se conocía como “Los Montes de Arena” hasta que se abrió un gran estuario –conocido como Lago Lingustinus– flanqueado por una isla, donde durante algún tiempo se creyó que se hallaba la mítica ciudad de Tartessos.

Desde aquellos tiempos de la antigüedad clásica hasta finales del siglo XV y comienzos del siglo XVI no se encuentran referencias cartográficas de este frente costero. Sabemos por éstos que las aportaciones sedimentarias –muy cuantiosas a finales de la Edad media– de las cuencas fluviales hicieron que en los mapas de 1501 (Biblioteca Nacional de Madrid) ya la flecha occidental del río Guadalquivir se había unido con la isla, desapareciendo la boca occidental de la desembocadura del río.

El mapa de A. Ortelius de 1601 muestra todo el frente onubense apreciándose que no existe ninguna flecha; aunque, sí se había rellenado todo el estuario del río Guadalquivir.



Figura 5.4: Costa onubense en el mapa de Ortelius de 1601

Más explícito es el Atlas que Pedro Texeira realizó para Felipe IV en 1634. En él aparecen cuatro planos de la zona:

- I) El primero de ellos es el general de la costa que confirma el anterior plano de 1601; pero con mayor exactitud.
- II) Los siguientes planos son específicos dibujados a vista de pájaro, concretamente se centran en: La desembocadura del río Guadiana; Huelva; y la desembocadura del río Guadalquivir y Cádiz.
 - En el primero de los planos, Guadiana, se aprecia como existían toda una serie de bajos frente a la boca de salida y comenzaba a desarrollarse una flecha en el lado español y un cordón importante en el lado portugués.
 - El segundo de los planos, representa la desembocadura de los ríos Odiel y Tinto y Huelva; donde solamente se había comenzado a desarrollar una flecha
 - En el tercero de los planos, la desembocadura del río Guadalquivir se aprecia solamente su punta, que no parece sea excesivamente diferente del actual, con una flecha sumergida frente a Chipiona.

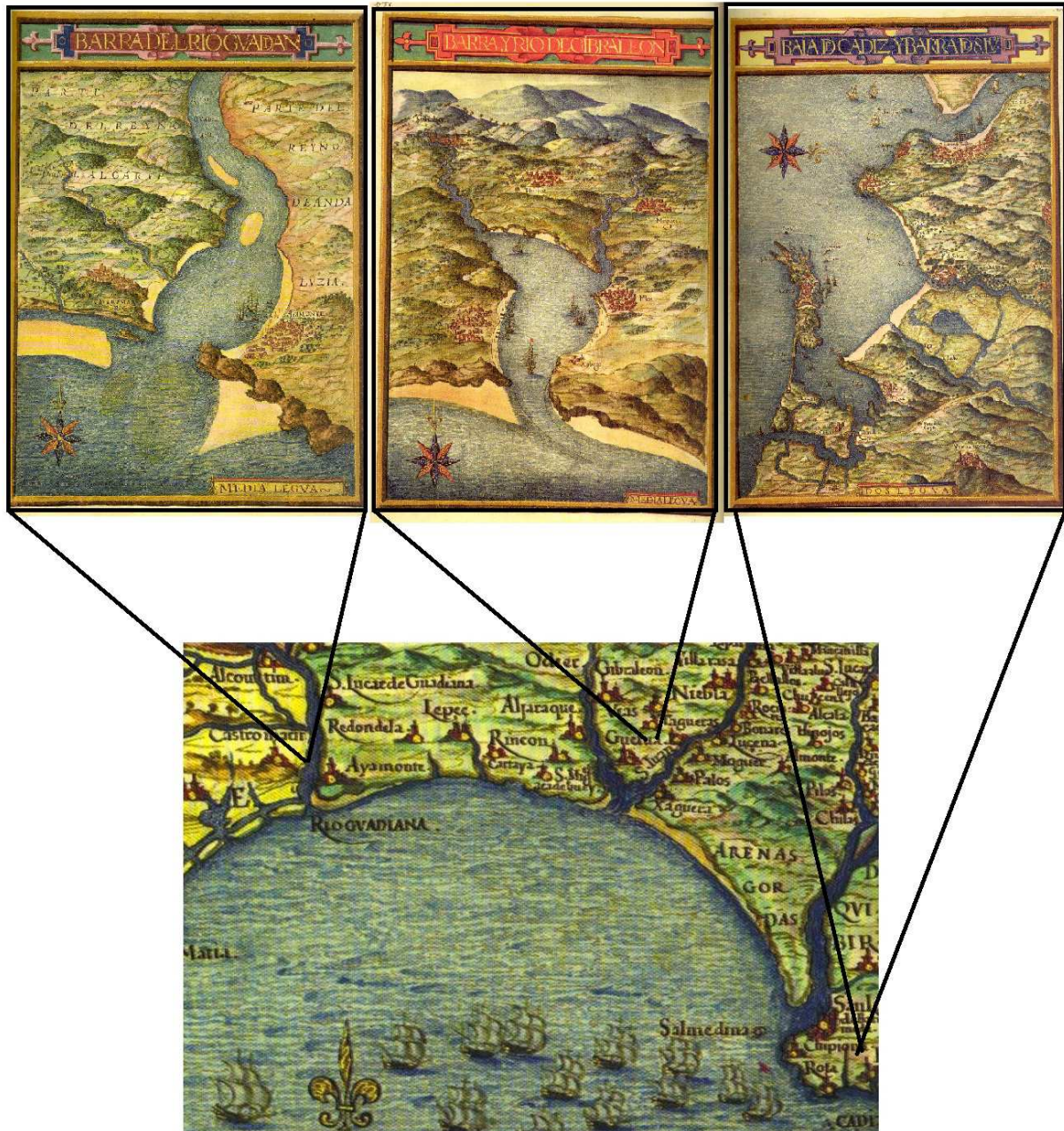


Figura 5.5: Estado de la costa de Huelva en el Atlas de las costas y puertos españoles de P. Texeira de 1634

5.4 EVOLUCIÓN EN EL PASADO

El estudio de la evolución que se ha producido a medio plazo en el frente costero de Huelva, se ha realizado considerando su origen cuando aparece el primer mapa de las costas del estuario del río, 1634, con el que se ha finalizado el anterior escalón evolutivo en ese año. El final de

este periodo medio, pasado, se debe tomar cuando aparecen los mapas y planos bien referenciados. Este final podría situarse con la aparición del Atlas Marítimo de España de Vicente Tofiño de San Miguel de 1787, tal y como se ha podido comprobar en diversos informes técnicos del CEDEX (de la Peña et al. 2001), en el cual se puede geo referenciar con una cierta exactitud.

Entre estos dos límites tomados de la evolución en un medio plazo de tiempo, las fuentes de información consultadas y utilizadas son las siguientes:

Cartográficas:

1. Plano de 1755
2. Plano de Sevilla de Von Reilly de 1789
3. Plano de 1764 (Junta de Andalucía-Archivo de Simancas)
4. Carta náutica de 1840 (Junta de Andalucía-Museo Naval)
5. Carta náutica de 1861 (Junta de Andalucía-Museo Naval)
6. Carta náutica de la barra de los ríos Odiel y Tinto de 1829 (Museo Naval)

Estudios de evolución:

1. Morales (1994)

Tras el análisis de los planos que contiene el Atlas de 1634 de P.Texeira, los primeros planos que se han usado son los correspondientes al siglo XVIII, de 1733 y 1789, el primero de ellos se centra en las desembocaduras de los ríos Odiel y Tinto mientras que el segundo de ellos muestra la costa de toda Huelva.



Figura 5.6: Costa de Huelva de Von Reilly de 1789



Figura 5.7: Desembocadura de los ríos Odiel y Tinto, mapa de 1755 de Jose Antonio de Armona y Murga, administrador de la aduana onubense (fuente: Autoridad Portuaria de Huelva, Diputación Provincial de Huelva)

En el primero de los mapas, de 1789, se aprecia que tiene un inicio la Flecha del rompido, las marismas del Guadiana ya se han formado; pero no se observa con claridad, como si se hace en el mapa de 1755, cómo la flecha de Punta Umbría ha comenzado a desarrollarse, de la que posteriormente saldría de la flecha de Huelva.

El siguiente plano utilizado ha sido el de 1764 que proviene del Archivo de Simancas y ha sido facilitado por el Instituto de Cartografía de Andalucía. En aquel periodo ya estaban consolidados los cordones litorales de la margen portuguesa, así mismo, se aprecian diversos bajos asociados a la desembocadura y las flechas de Isla Canela.

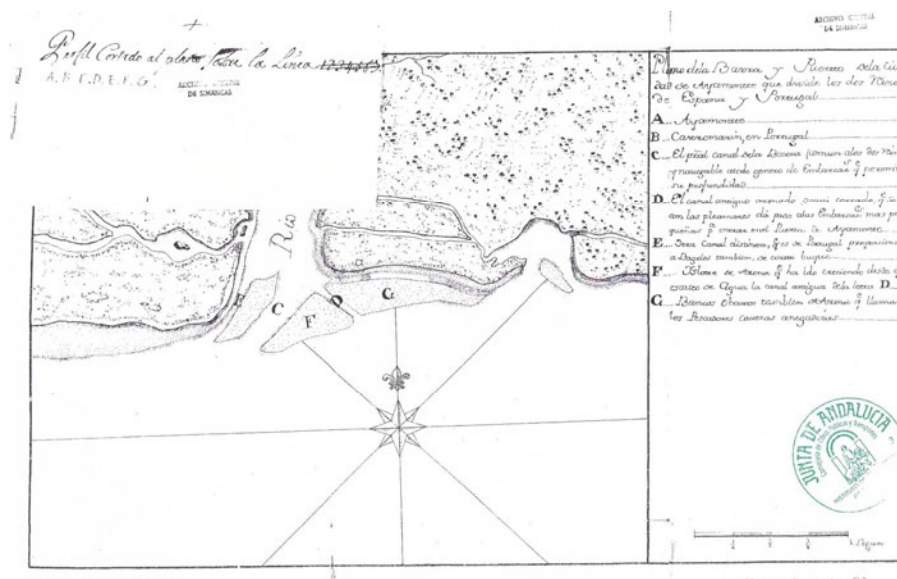


Figura 5.8: Desembocadura del río Guadiana en 1764 (fuente: Archivo de Simancas, Instituto de Cartografía de Andalucía)

El siguiente mapa usado, de 1849, muestra la desembocadura del río Guadiana e Isla Cristina formando flechas y ordenándose lo que serían posteriormente las zonas marismales de Isla Canela e isla Cristina.

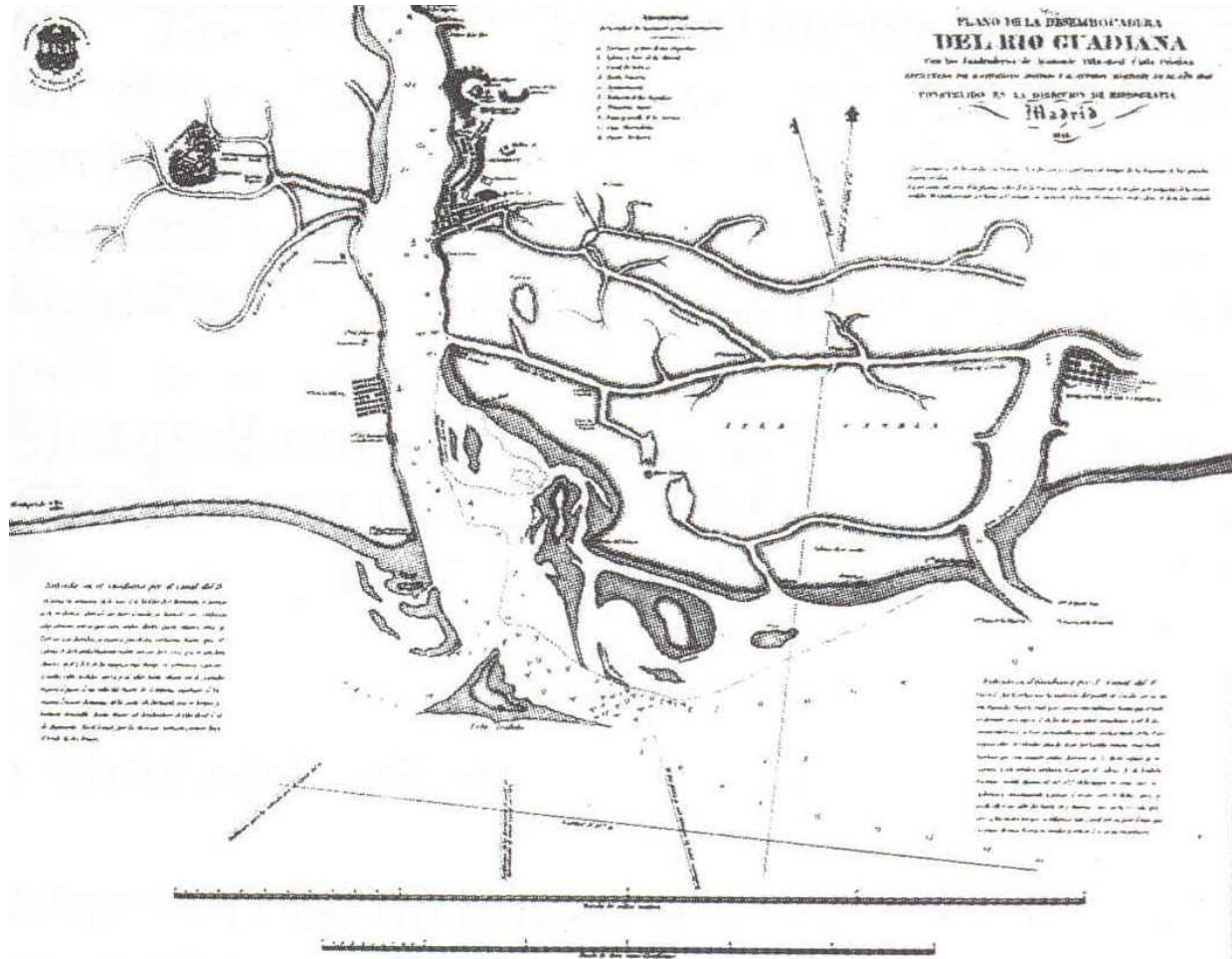


Figura 5.9: Desembocadura del río Guadiana en 1840 (fuente: Museo Naval)

En la carta náutica de 1861, levantada en 1859, se aprecia ya el desarrollo de la flecha del Guadiana que parte del cordón litoral que existía en la margen costera portuguesa. El crecimiento de los bajos frente a Ayamonte, respecto a 1764, es espectacular: la flecha de Isla Canela está totalmente desarrollada y deja a la ciudad de Ayamonte, que en 1634 estaba junto al mar, lejos de la costa. La carta náutica de 1868 muestra la flecha del Guadiana totalmente desarrollada, lo mismo que las flechas de Isla Canela y de la Espada. Como puede apreciarse no existen grandes diferencias de esta carta náutica con la anterior. Ambas indican claramente que la actividad sedimentaria del río Guadiana había sido capaz de ir rellenando Isla Canela para formar cordones y zonas marismales, y los sedimentos comenzaban a desarrollar la flecha y el delta sumergido del río Guadiana.

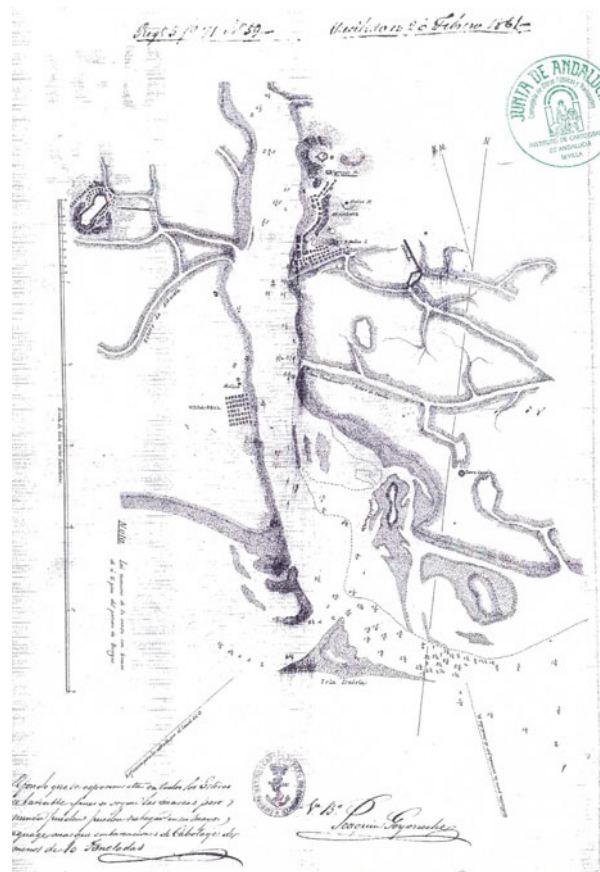


Figura 5.10: Desembocadura del río Guadiana en 1861 (fuente: Junta de Andalucía-Museo Naval)

El último de los planos que se presenta es el de la flecha de Huelva que aparece en una carta náutica de 1829 –Museo naval-. En ella se aprecia cómo comienzan a emerger los bancos que formarían la flecha de Huelva así como la incipiente flecha de Punta Umbría.

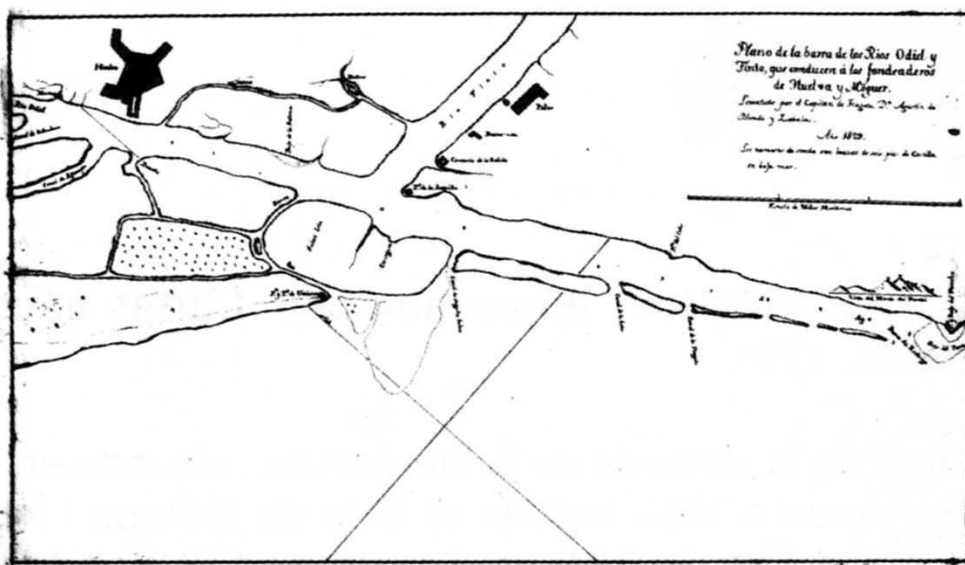


Figura 5.11: Carta náutica de la barra de los ríos Odiel y Tinto de 1829 (Museo Naval)



5.5 EVOLUCIÓN RECIENTE

Para el estudio de la evolución reciente que se ha ido produciendo en las costas de Huelva se va a utilizar los datos que contienen los informes del CEDEX de estas costas, así como los datos que presenta los trabajos de HITDMA (2000, 2011) realizado para la entonces Dirección General de Costas, y Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y de Mar.

Se ha dividido para ello en dos tramos la costa de Huelva, al igual que se ha hecho en otros puntos de este informe:

- Tramo I: Desembocadura del río Guadiana a Flecha del Rompido
- Tramo II: Flecha del Rompido a desembocadura del río Guadalquivir

El estado de la costa del que se parte podría situarse en el comienzo de la realización de las cartas náuticas modernas. En ambos casos, la evolución se centra especialmente en las singularidades costeras que la costa onubense tiene.

5.5.1 Evolución reciente. Tramo I: Desembocadura del río Guadiana a Flecha del Rompido

Para caracterizar la evolución reciente de este tramo costero de Huelva se ha preferido realizarla en dos escalones diferentes. En el primero de ellos se analiza la evolución de las diferentes cartas náuticas y en el segundo se detalla los planos de evolución que se realizaron para el informe técnico de 2003 basado en vuelos fotogramétricos a partir de 1956.

En la carta náutica de 1861, levantada en 1859, ver apartado anterior, se aprecia ya el desarrollo de la flecha del Guadiana que parte del cordón litoral que existía en la margen costera portuguesa. El crecimiento de los bajos frente a Ayamonte, respecto a 1764, es espectacular: la flecha de Isla Canela está totalmente desarrollada y deja a la ciudad de Ayamonte, que en 1634 estaba junto al mar, lejos de la costa. La carta náutica de 1868 - primera figura de este informe- muestra la flecha del Guadiana totalmente desarrollada, lo mismo que las flechas de Isla Canela y de la Espada.

La última carta náutica levantada por el Instituto hidrográfico de la Marina antes de la realización del dique de encauzamiento en la margen portuguesa de la desembocadura del río Guadiana es la realizada en 1952. En ella puede apreciarse claramente el desarrollo que tenía la flecha del Guadiana, llamada ya entonces *Banco do O'Bril*

También en este periodo de 1952, existían bancos de arena asociados a la margen española de la ría. Toda esta gran cantidad de arena originaba problemas de navegabilidad por el estuario, o ría, del Guadiana, motivo por el cual se tomó la determinación de construir el dique de encauzamiento, que se realizó entre 1972 y 1973.

La nueva carta náutica de 1982 ya recogía estos cambios: El dique de encauzamiento había roto la flecha del Guadiana en dos, quedando una parte como acumulaciones a poniente del dique, en la margen portuguesa y otra como bancos de arena independientes a levante, a los que se siguió denominándoseles *Banco do O'Bril*.

El primer efecto que produjo la construcción del dique de encauzamiento de la margen portuguesa, al que más tarde se le agregó el dique semi sumergido de encauzamiento de la margen española, fue que el caudal sedimentario aportado por el río cambió de dirección; no dirigiéndose en su cauce natural en dirección S60E, sino en dirección S30E.



Figura 5.12: Detalle de la carta náutica de 1952 (fuente: Instituto Hidrográfico de la Marina)

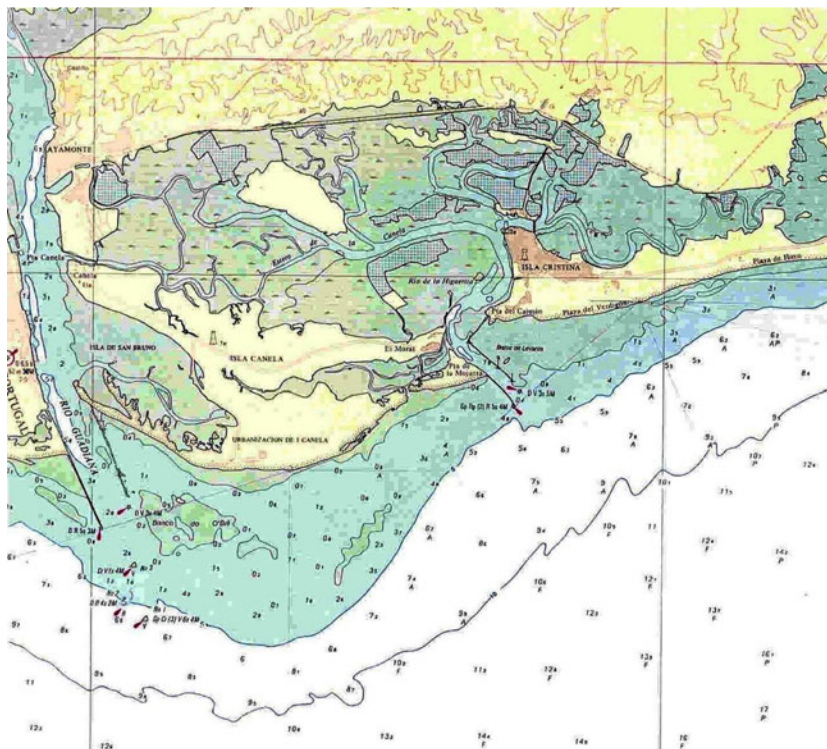


Figura 5.13: Detalle de la carta náutica de 1982 (fuente: Instituto Hidrográfico de la Marina)

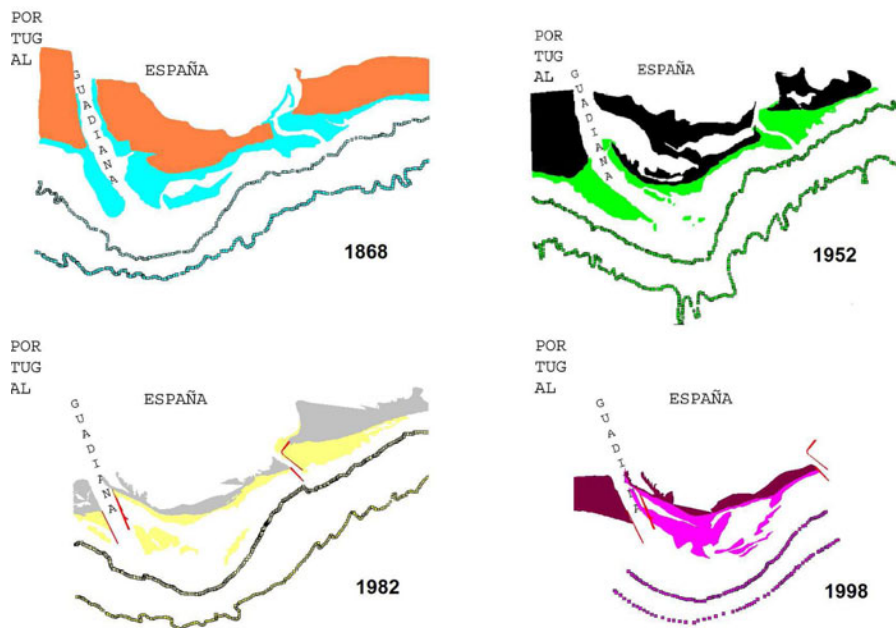


Figura 5.14: Esquema evolutivo reciente del tramo de costa entre el río Guadiana e Isla Cristina

Finalmente, la evolución que se ha ido produciendo en la margen española de la desembocadura del río Guadiana se estudia con mayor detalle analizando los planos de evolución de la línea de costa que se realizaron para el informe técnico de 2003.

Estos planos se han realizado mediante levantamiento fotogramétrico de diferentes vuelos de la línea de costa que coincide con el cero topográfico, respecto al nivel de Alicante. Esta elección de referencia se debe a que al restituir la línea de costa debe hacerse siempre para un nivel fijo, y ha parecido lo más lógico tomar esta línea cero. Este nivel de referencia hace que solamente puedan restituirse aquellos vuelos aéreos verticales de proyección estereoscópica que se hayan realizado próximos a la bajamar, excluyéndose aquellos otros que no cumplan estas condiciones de marea. Con estas premisas, y una vez analizados los bancos de fotografías verticales del CEDEX, Junta de Andalucía, Instituto Geográfico Nacional, y otros, se eligió como más idóneos los vuelos realizados en 1956, 1981, 1995 y 2000 mencionados en diversas ocasiones anteriormente en este informe técnico. A estos tres vuelos se les ha sumado las líneas de orilla correspondientes a las dos batimetrías de 1987, realizada por la empresa Geocar S.A., y de 1998, realizado por Hidra – Cartografía y Servicios S.A.

En la figura siguiente se presenta un plano general de estos Planos de Evolución de la Línea de Costa del CEDEX, en el que se han tomado tres perfiles de control para estudiar cuantitativamente los cambios que se han producido en esta costa, desde la desembocadura del río Guadiana hasta Isla Cristina.

Debe resaltarse que mientras los vuelos fotogramétricos de 2000, 1995 y 1981 son de escalas parecidas: 1/10.000 para el primero y 1/12.000 para los otros dos, el vuelo de 1956 es de escala 1/33.000. Por lo que la exactitud de éste último es menor que la de los anteriores, unido a que los clichés fotográficos de 1956 estaban muy deteriorados han hecho que partes de la costa no haya podido restituirse.

Como puede apreciarse en los Planos de Evolución, en este tramo de costa, desde la desembocadura del río Guadiana hasta la playa del Hoyo, ha habido cambios significativos de la línea de costa. Son de especial interés el frente costero de Isla Canela y su continuación de la playa de los Haraganes, y el frente costero de la playa del Hoyo, en el otro lado de la desembocadura del río Piedras.

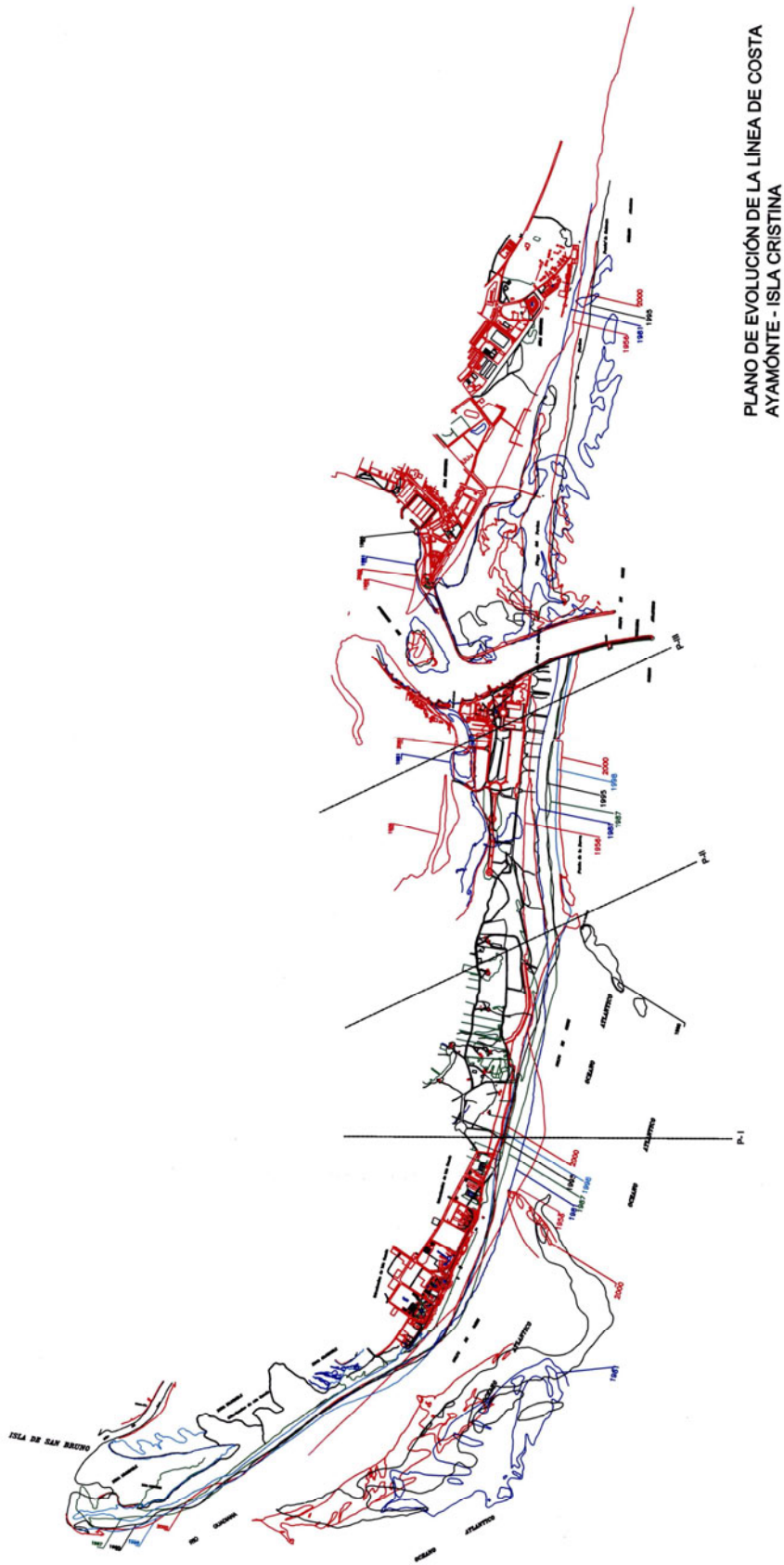


Figura 5.15: Plano de evolución de la costa de Huelva entre la desembocadura del Guadiana e Isla Cristina (CEDEX 2003)

5.5.2 Evolución reciente. Tramo II: Flecha del Rompido a desembocadura del río Guadalquivir

La desembocadura del río Guadiana ha sido objeto de estudios profundos de su evolución (CEDEX 2003, HIDTMA 2000 y 2011) pero no así el resto del tramo cuya evolución se encuentra caracterizada, pero sin el detalle de la anterior.

La primera de las formas, la Flecha del Rompido, ha sido estudiada su evolución por el CEDEX (1991) y en el estudio integral de la costa onubense por HIDTMA.

En el primero de los estudios se indica que mientras autores anteriores, como Dabrío, daban una cifra de crecimiento de la Flecha en torno a 30-35 m/año, se había detectado que desde 1981 el crecimiento se había detenido.

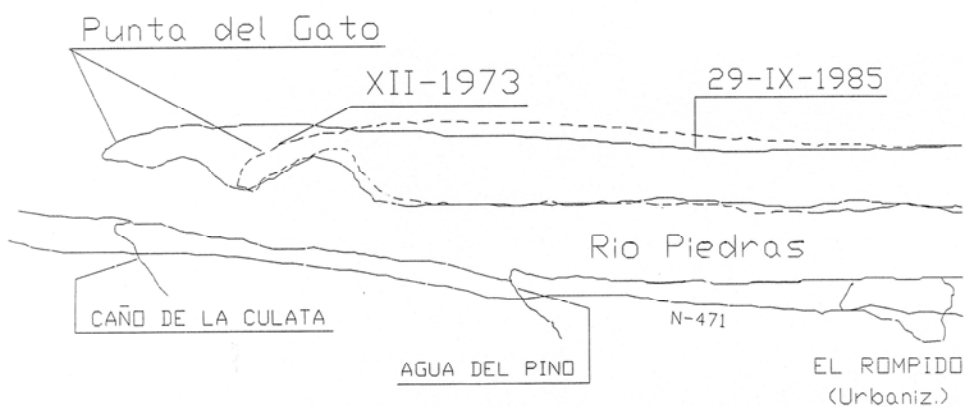


Figura 5.16: Evolución de la Flecha del Rompido (CEDEX 1991)

El estudio de HIDTMA (2000) hablaba en el mismo sentido, indica que ésta lo había hecho porque se había encontrado con que la costa giraba, y esta misma formación también lo estaba haciendo.

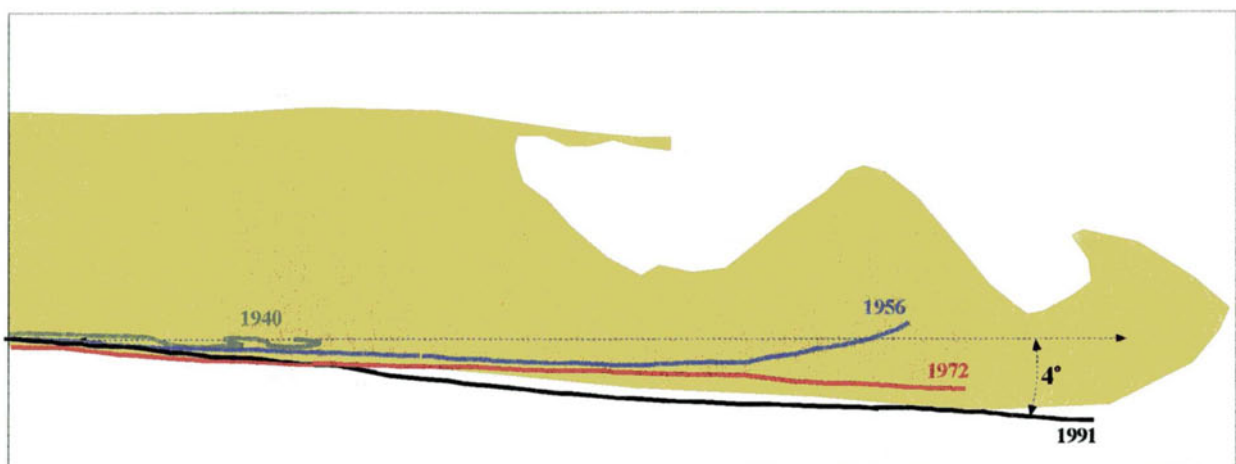


Figura 5.17: Evolución de la Flecha del Rompido (HIDTMA 2000 y 2011)

Las dos siguientes formaciones, las flechas de Punta Umbría y Huelva fueron objeto de estudio evolutivo en los informes técnicos que el CEDEX realizó en 1991. Para estudiar la evolución



que se iba produciendo en ambas flechas se utilizaron cartas náuticas de 1868, 1944, 1970 y 1981.

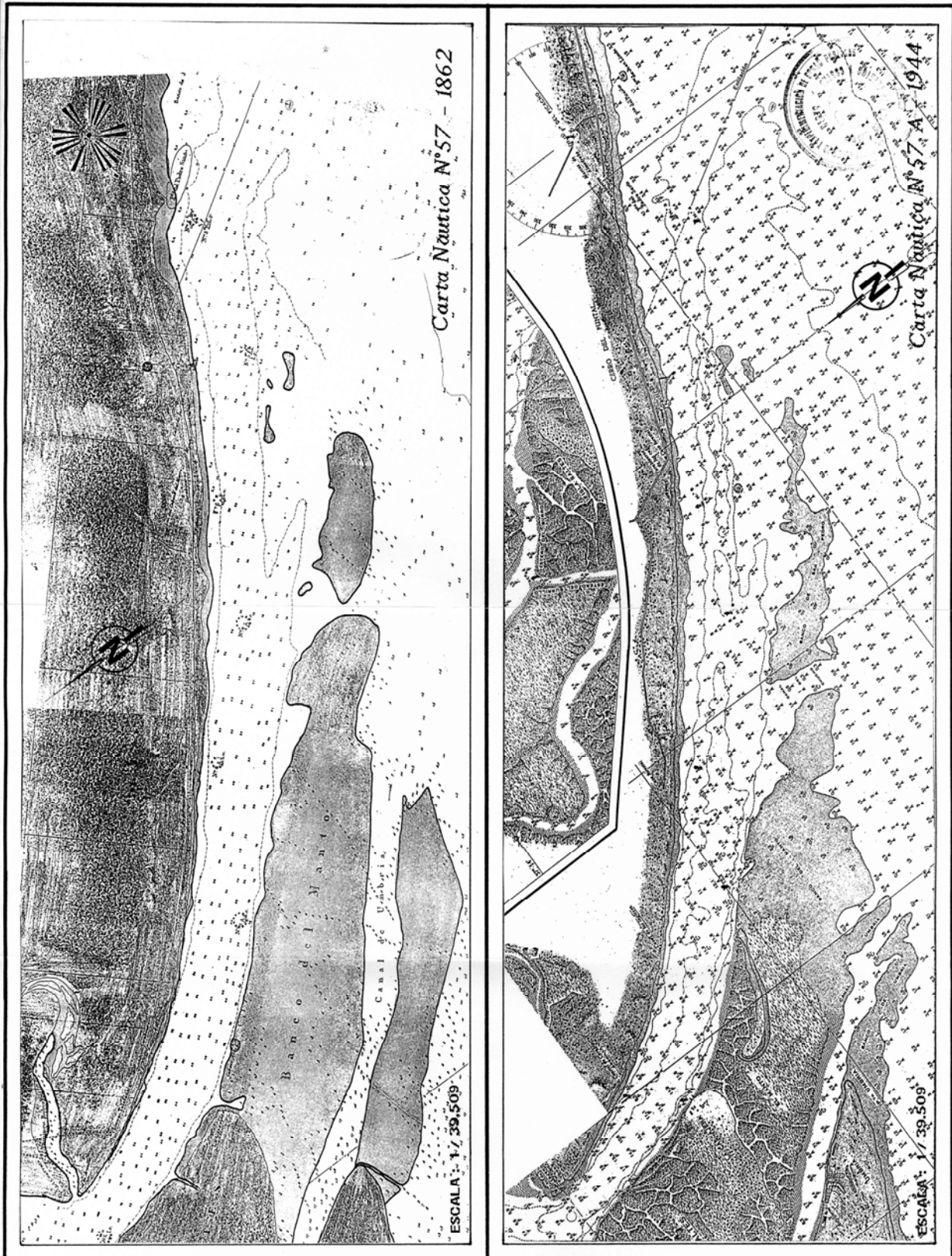


Figura 5.18: Detalle de las cartas náuticas de 1862 y 1944 usadas para realizar el plano de evolución de la costa de Punta Umbría y Huelva (CEDEX 1991)

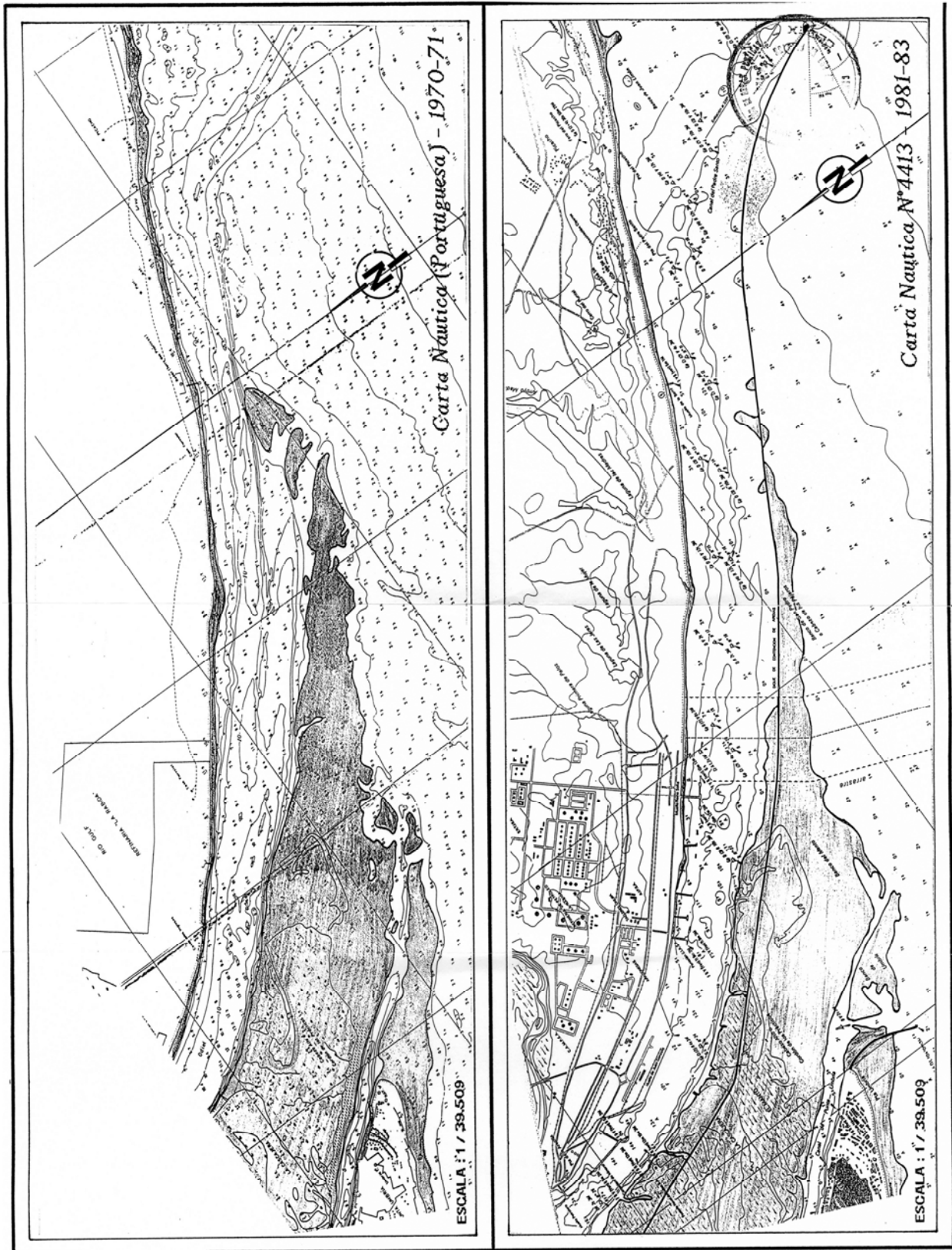


Figura 5.19: Detalle de las cartas náuticas de 1970 y 1981 usadas para realizar el plano de evolución de la costa de Punta Umbría y Huelva (CEDEX 1991)



CEDEX

EVOLUCION DE LA LINEA DE COSTA

ESCALA 1 : 39 509

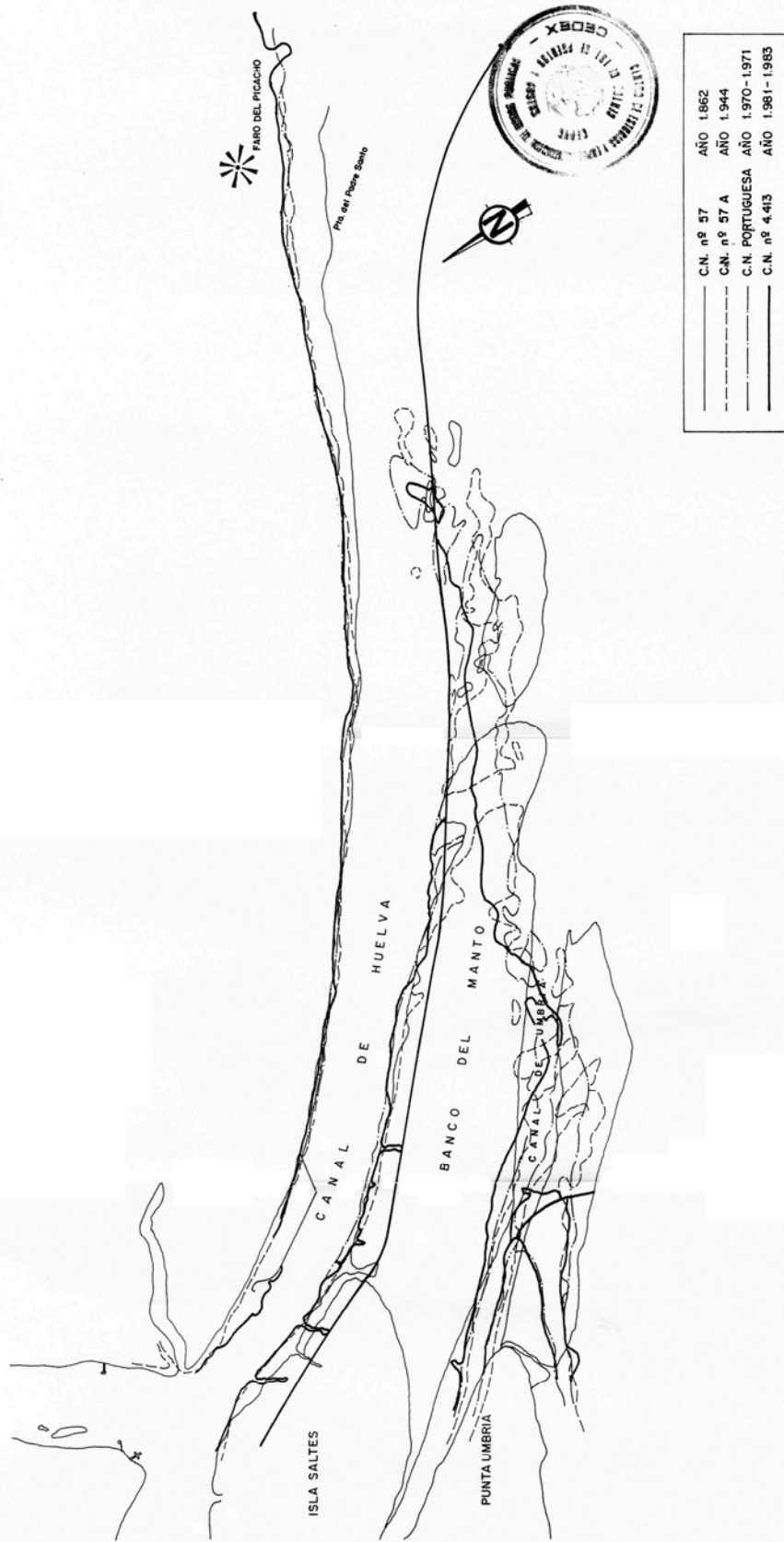


Figura 5.20: Plano de evolución de la costa de Punta Umbría y Huelva (CEDEX 1991)

Como puede apreciarse hasta la década del 1980 no se habían producido avances significativos en la flecha de Huelva, que con la construcción del dique de Juan Carlos I pasó ser una playa apoyada en él, habiendo avanzado desde entonces en su recorrido hacia levante. La Flecha de Punta Umbría sí había tenido un avance significativo en su inicio, cortándose a comienzos de los años 80 del pasado siglo. En la actualidad el avance es significativo, comenzándose a formar una nueva flecha, hoy sumergida, que parte del dique curvo construido en 1984.

El trabajo de HIDTMA (2011) estudia la evolución reciente de la Flecha de Huelva en la que muestra las transformaciones que se han ocasionado en la Flecha de Huelva, al apoyo del Dique Juan Carlos I, indicando que se ha producido un proceso erosivo en el extremo sur de los antiguos bajos de la desembocadura.

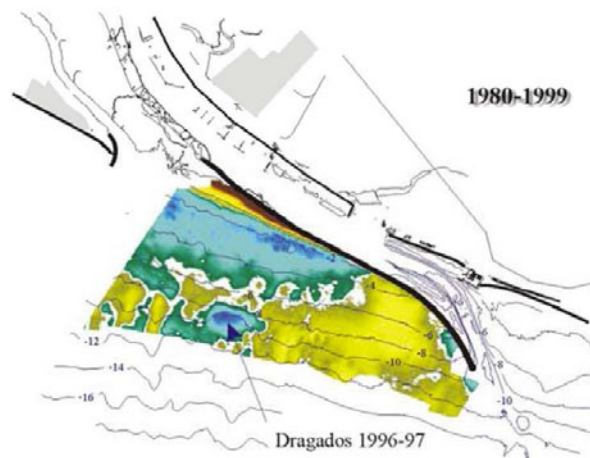


Figura 5.21: Evolución de la punta de la Flecha de Huelva apoyada en el dique Juan Carlos I (HIDTMA 2011)

Respecto a la evolución de la playa de Mazagón, indica que la construcción del Dique Juan Carlos I ha supuesto un impacto directo en ella y, como consecuencia de esa construcción y el transporte generado hacia el interior de la ría, la playa de Mazagón ha sufrido un retroceso notable en las últimas décadas.



Figura 5.22: Playa de Mazagón (HIDTMA 2011)

6. ZONAS CON PROBLEMAS Y VARIABLES QUE LOS DEFINEN

Este último capítulo del primero de los informes técnicos sobre el estudio de actuación en la costa onubense se dedica a intentar conocer las tendencias evolutivas que los puntos anteriores han ido indicando, las variaciones que previsiblemente se producirán en la evolución de la costa y, finalmente, detectar cuáles son las variables y posibles problemas que pueden aparecer debido a ello.

Metodológicamente, se ha preferido centrarse en las cinco formaciones costeras singulares que se indican en el capítulo 2, apartado 2.4, esto es:

- Desembocadura del río Guadiana
- Flecha del Rompido
- Flecha de Punta Umbría
- Flecha de Huelva
- Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir

6.1 TENDENCIA EVOLUTIVA Y TRANSFORMACIONES EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADIANA

Retomando el estado evolutivo del delta del río Guadiana, hoy prácticamente semisumergido, que nos dan los datos cartográficos y fotográficos. Se podría ver, en el primero de los estadios –tomado éste como la batimetría de 1998 (CEDEX 2003)- unos bajos que ya apuntaban la forma futura que se preveía para el entonces delta sumergido.

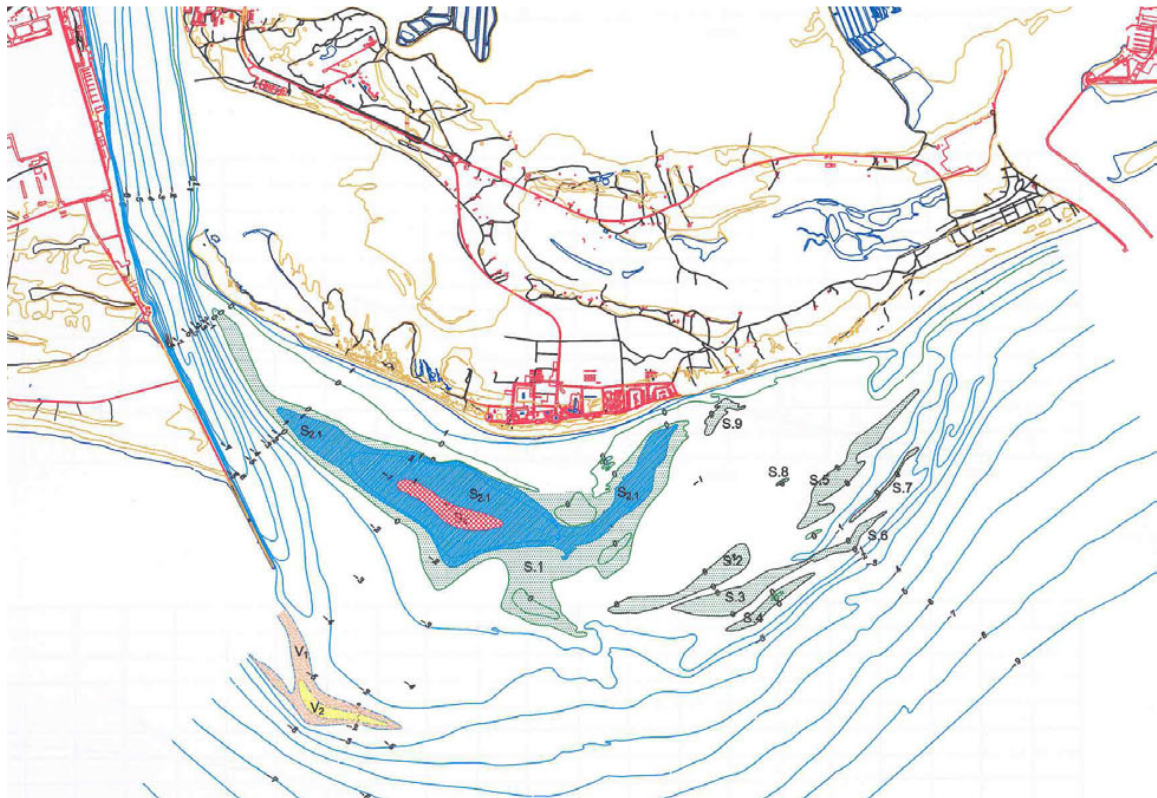
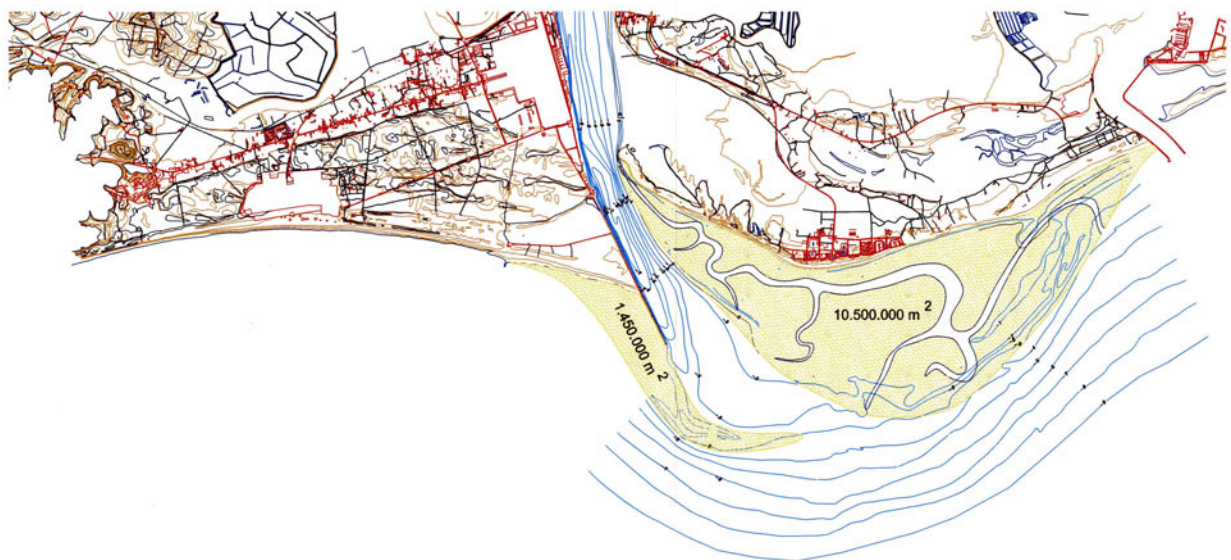


Figura 6.1: Batimetría de la desembocadura del río Guadiana de 1998 (CEDEX 2003)

El crecimiento entonces de estos bajos era de bastante cuantía (CEDEX 2003): en 16 años, entre 1982 y 1998, se habían producido depósitos, solamente en los bajos analizados, de prácticamente 577.000 m²; con un incremento anual de superficie de bajos de unos 36.000 m². Si a estos datos se aumentaban los de la flecha que se aprecia en el lado portugués, el aumento anual era de cerca de 50.000 m². Si trasladamos estos datos al periodo actual, supondría un aumento de bajos desde 1998 hasta 2011 de unos 40.000 m², lo que indica que se encontraría en la actualidad en un estado todavía previo al que preveía el informe de CEDEX de 2003 como estado final del delta consolidado; si bien a ello debería hacersele diversas matizaciones.



ESTUDIO DEL ESTUARIO DEL RIO GUADIANA
TENDENCIA EVOLUTIVA

Figura.- 5.22

Figura 6.2: Tendencia evolutiva del delta del río Guadiana según el CEDEX (2003)

La primera de esas matizaciones es que el delta se va formando por acumulaciones en forma de cordones o medias lunas de depósitos de sedimento; y por tanto, la forma exterior que alcance el delta será bastante anterior al relleno total de la superficie.

Estos cordones de acumulación, siguen –con una cierta aproximación– la trayectoria media del trasporte longitudinal de sedimentos y serán los futuros límites de los canales mareales que se vayan produciendo en esta enorme superficie del futuro delta.

En la actualidad, estos depósitos se ven claramente marcados casi en nivel medio, y en bajamar son plenamente palpables dejando grandes arenales en superficie. La línea del delta se aprecia marcada en las fotografías aéreas que Google Earth-Digital Globe nos ofrece. Con ello se pueden hacer líneas de bajos que están próximos a emerger y que seguirían las pautas generales predichas en el informe de CEDEX de 2003.

La evolución de los bajos ha producido distorsiones en la línea de costa: Formando un tómbolo frente al centro de la playa de isla canela y, como consecuencia de la absorción de arena, una importante erosión a levante, como se muestra en la figura adjunta.



Figura 6.3: Fotografía de la desembocadura del río Guadiana en la que se ha señalado los bajos que se aprecian en ella (fuente: Google Earth-Digital Globe)

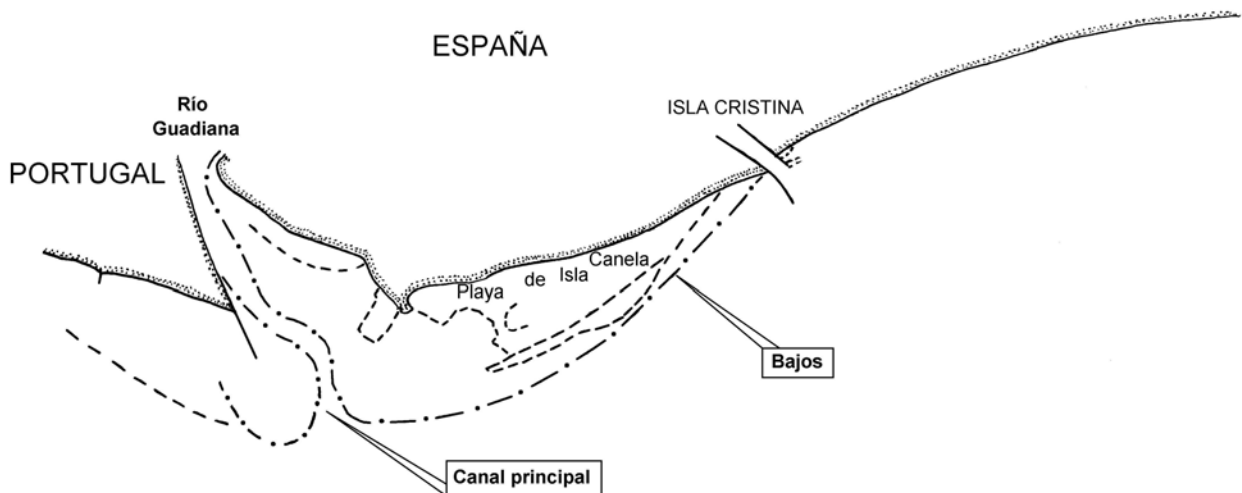


Figura 6.4: Esquema de los bajos que se aprecia en la actualidad en el entorno de la desembocadura del río Guadiana

Este estadio esperable para el futuro próximo de la desembocadura del río Guadiana nos muestra que frente a Isla Canela se irá formando una zona de marismas con una línea de orilla que tocará el dique de poniente de Isla Cristina; dejando a la actual línea de orilla lejana: en torno a 1800 m, en la zona mayor frente a Isla Canela, y de unos 150 m junto al dique de poniente de Isla Cristina.

Esta previsión para el futuro no es instantánea y, por tanto, deben estudiarse los problemas intermedios y finales que pueden provocar; siendo un ejemplo claro el que se ha producido en ocasiones en la playa de Isla Cristina y que afectó al propio paseo y urbanizaciones que dieron lugar a la regeneración de esa zona, Islantilla u la Antilla, donde en la actualidad existe una anchura estricta de playa que en periodos de temporal puede ocasionar problemas alcanzando el paseo.

Los posibles problemas que puedan aparecer se centran en:

- Lugares de concentración de energía y lugares abrigo de energía debido a los bajos
- Reducción de transporte longitudinal en el tramo del delta con una tendencia erosiva en el tramo contiguo
- Reducción de aportes del río a la costa adyacente por la posible absorción de éstos por las futuras zonas de marismas
- Conflicto en la salida del río Carreras, Isla Cristina, entre el transporte de sedimentos y el uso portuario
- Anchura estricta frente a las urbanizaciones en las playas de Islantilla y Antilla

6.2 TENDENCIA EVOLUTIVA Y TRANSFORMACIONES EN LA FLECHA DEL ROMPIDO

Los datos que nos ofrecen los diferentes estudios técnicos sobre la Flecha del Rompido mostraban cómo la Flecha fue creciendo a un ritmo entre 30 y 35 m/año (CEDEX 1991) hasta 1981 donde se detectó un parón en su avance. Posteriormente, HIDTMA (2000) detectó que la punta de la Flecha había girado desde 1940 hasta 1991, 4º en dirección sur; lo que intentaría indicar que la Flecha se estaba acomodando al giro que la costa hace en este lugar. Pero los datos que nos proporcionan las fotografías aéreas, tomadas de Google Earth, posteriores de este lugar ofrecen dudas respecto a esas afirmaciones.

Para explicarlo, se han tomado dos fotografías aéreas de la punta de la Flecha del Rompido que contiene Google Earth de Digital Globe, correspondiendo la primera a octubre de 2004 y la segunda a junio de 2011.

La primera de las fotos, de 2004, fue tomada en un estado de la bajamar mayor que la segunda, de 2011, por lo que su comparación cuantitativa resulta absurda; solamente se puede hacer una comparación aproximada, intentando averiguar la tendencia evolutiva que ellas nos muestran.

Para ello se ha realizado un esquema de los dos estados con los labios de los bajos que se aprecian en ambas instantáneas, que se muestra a continuación de las fotografías. Se ha resaltado en ambas figuras dos elementos esenciales para intentar comprender hacia dónde va transformándose esta forma costera.

En la primera de las imágenes, de 2004, se aprecia claramente un canal de salida del río Piedras y tras él un saliente de arena que parte del continente. En 2011, este saliente de arena ha crecido, consolidándose las partes más elevadas, y distinguiéndose dos canales de salida

principales del río de menor anchura que el que se observaba en 2004. Estas fotografías parecen indicarnos que el crecimiento de la Flecha del Rompido ha tocado a su fin; así mismo, parece que la propia Flecha pasaría a ser un cordón litoral apoyado en el saliente actual, con una o dos golgas de salida. Si esta suposición fuese cierta, el trasdós del saliente sería por cierto tiempo un depósito de material hasta que la forma de la costa se regularizase.



Figura 6.5: Estado de los bajos de la punta de la Flecha del Rompido en 2004 y 2011 (fuente: Google Earth – Digital Globe)

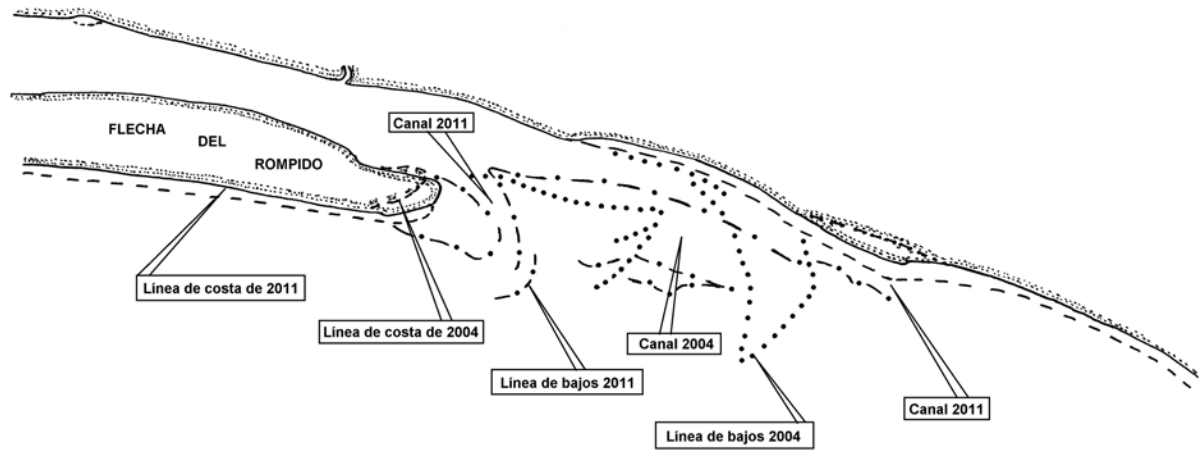


Figura 6.6: Esquema de la evolución de bajos frente a la Punta de la Flecha del Rompido entre 2004 y 2011

Con esta proyección futura caben esperar ciertos problemas que podrían centrarse en:

- Compatibilidad de las golas y navegación con el transporte sólido litoral
- Absorción de arena del conjunto en detrimento de las playas de aguas abajo hasta que la forma costera final se haya regularizado y estabilizado
- Problemas locales de concentración de energía debido a los bajos y su evolución

6.3 TENDENCIA EVOLUTIVA Y TRANSFORMACIONES EN PUNTA UMBRÍA

Los datos que muestran los diversos informes y trabajos analizados finalizan su conocimiento evolutivo aún más pronto que lo hacía la Flecha del Rompido. Para conocer su evolución y tendencia evolutiva que nos muestra se ha recurrido, también, a las fotografías que posee Google Earth de Digital Globe y del Instituto Cartográfico de Andalucía; habiéndose tomado aquellas instantáneas que se hubieran realizado en bajamar o próximo a ella ya que aquellas que se encontraban en pleamar servían bien para caracterizar la evolución de la playa seca pero no nos permitían conocer los bajos arenosos para, a través de ellos, inferir hacia donde parece que va a desarrollarse la evolución de la formas costeras.

Visto la frecuencia de fotografías históricas que Google Earth posee; las más modernas, de 2011 y 2010, se hallan cercanas a la pleamar. Siendo la primera de las secuencias proveniente de 2007, y la más antigua de 2004. Estando en la primera de ellas el mar mucho más bajo que en la segunda.

En ambas fotografías, se aprecia con claridad el canal de navegación y la tendencia acumulativa de los sedimentos que comienzan a configurar una flecha, continuación de la de Punta Umbría. También se observa cómo aparecen acumulaciones frontales a canal y perpendiculares a la flecha de Huelva. Pero en la foto de 2007, con marea más baja, parece que el canal de Punta Umbría se disuelve o desaparece al salir al exterior. Ello podría estar indicándonos que tiene una tendencia natural a acabar cegándose el canal, a menos en bajamar; aumentando el peso de desagüe del canal o ría de Huelva, cuya capacidad hidráulica aumenta con los dragados e incrementos de calados.

Por otra parte, la playa de Punta Umbría, apoyada en el dique del mismo nombre aumenta continuamente, lo que favorece el rebase de los sedimentos.



Figura 6.7: Estado de los bajos de Punta Umbría en 2004 y 2007 (fuente: Google Earth – Digital Globe e Instituto Cartográfico de Andalucía)

Los problemas que pudieran aparecer, dada la tendencia evolutiva señalada, se centraría en la reducción de calados en el canal de Punta Umbría y en un incremento, como consecuencia, del avance de la playa de la flecha de Huelva apoyada en el dique de Juan Carlos I del Puerto de Huelva.

6.4 TENDENCIA EVOLUTIVA Y TRASFORMACIONES EN LA FLECHA DE HUELVA

El análisis de este tramo o punto costero tiene que considerarse como continuación del punto anterior, de la flecha de Punta Umbría. Mezclándose ambos en un proceso hidrodinámico y sedimentario complejo. Para conocer su evolución y tendencia evolutiva se ha recurrido, también, a las fotografías que posee Google Earth de Digital Globe y del Instituto Cartográfico de Andalucía; habiéndose tomado aquellas instantáneas que se hubieran realizado en pleamar o próximo a ella ya que sirven bien para caracterizar la evolución de la playa seca, siendo complementarios estos datos a los que se muestran en el apartado anterior correspondiente al canal de Punta Umbría.

Visto la frecuencia de fotografías históricas que Google Earth posee; las más modernas, de 2011 y 2010, se hallan cercanas a la pleamar. Habiéndose tomado una foto intermedia de 2007, y la más antigua de 2005. En todas ellas se aprecia con cierta claridad la pleamar, por lo que se ha recurrido a su comparación, que se presenta en una figura en la que se han resaltado tres puntos: La playa de Punta Umbría, la playa de la flecha de Huelva y la playa apoyada en el puerto de Mazagón; que se insertan en figura posterior para una mejor compensión.



Figura 6.8: Estado de las playas de Punta Umbría, Flecha de Huelva y Mazagón en pleamar en 2005, 2007, 2010 y 2011 (fuente: Google Earth – Digital Globe e Instituto Cartográfico de Andalucía)

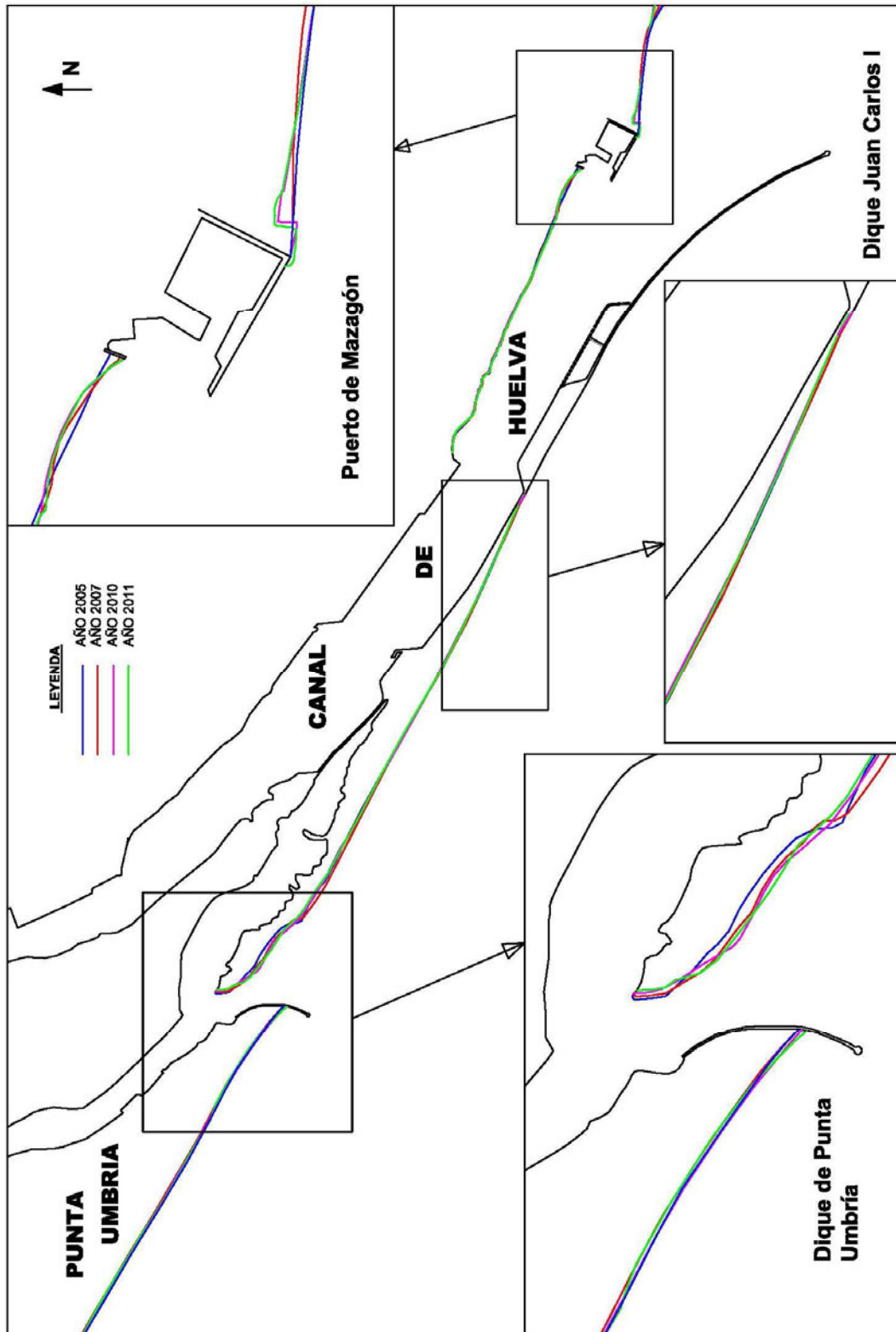


Figura 6.9: Evolución de la línea de costa en pleamar de las flechas de Punta Umbría y Huelva, y playa apoyada en el puerto de Mazagón

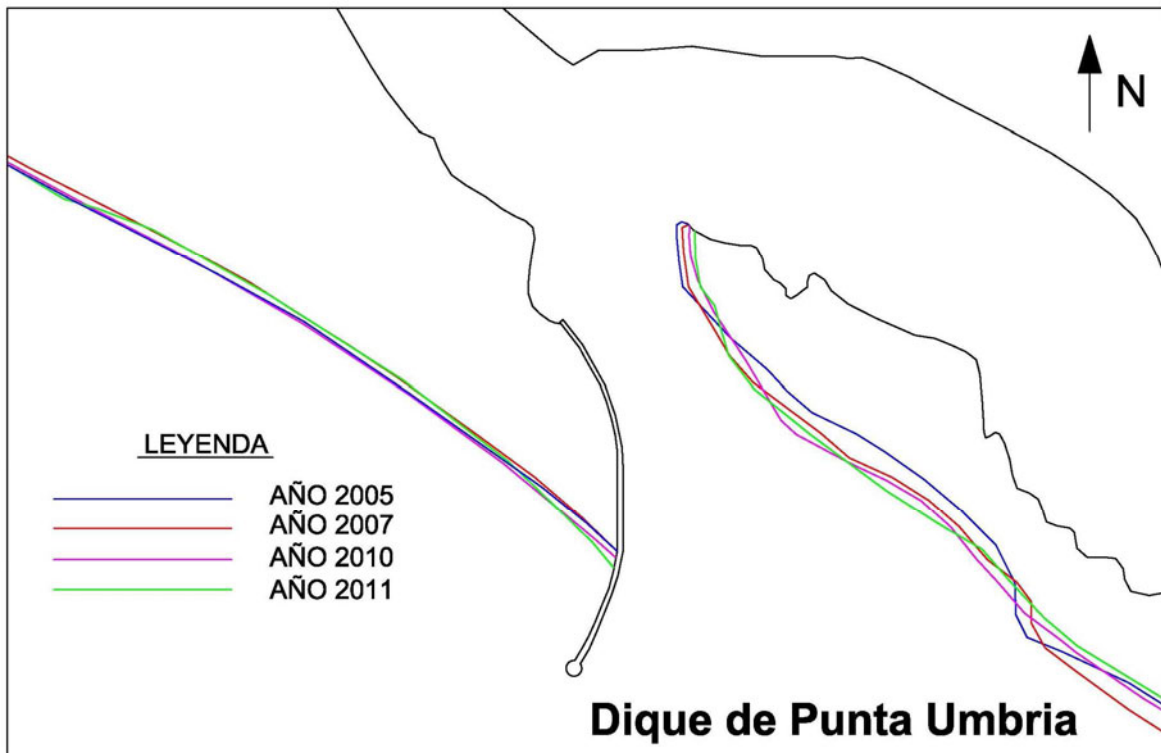


Figura 6. 10: Evolución de la línea de costa en pleamar de la flecha de Punta Umbría (detalle de la figura anterior)

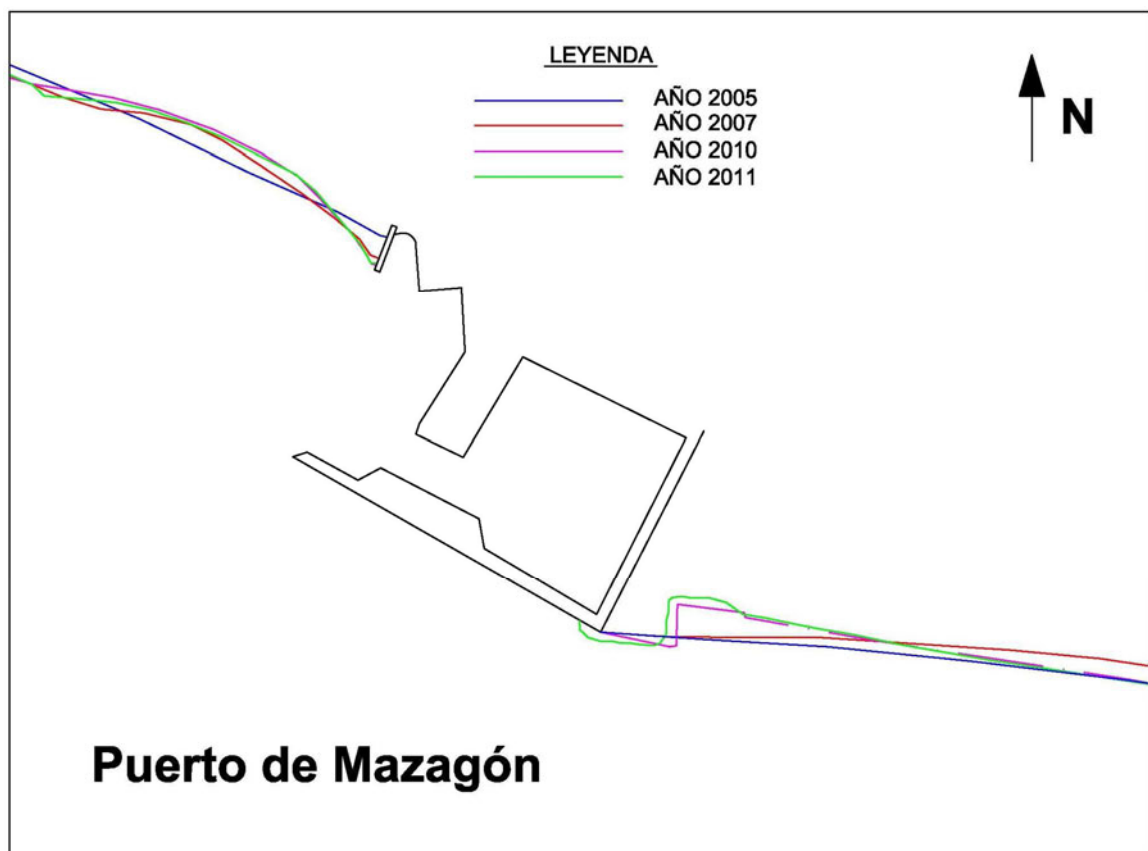


Figura 6. 11: Evolución de la línea de costa en pleamar la playa apoyada en el puerto de Mazagón (detalle de dos figuras anteriores)

Como se puede inferir de la evolución que se ha ido produciendo en las flechas de Punta Umbría y Huelva en pleamar, no es esperable que crezcan de manera significativa; produciéndose un movimiento de sedimento y recrecimiento de los depósitos en la zona intermareal y bajos; no aflorando a playa seca.

No parece que se esté en el mismo caso en la playa apoyada del puerto de Mazagón; apreciándose un continuo crecimiento, a pesar de las extracciones. Este crecimiento puede ser perjudicial a las playas próximas a levante, donde el transporte sólido litoral neto invierte su sentido para tomar dirección este.

El mantenimiento del canal de Huelva y del propio puerto de Mazagón hará que todas las arenas dragadas se pierdan para el transporte sólido litoral, debiéndose estudiar la gestión de estos sedimentos para que sean útiles para el mantenimiento adecuado de las playas a levante.

6.5 TENDENCIA EVOLUTIVA Y TRASFORMACIONES EN LA FLECHA DE DOÑANA

El último de los tramos de la costa onubense lo forma el frente de la playa de Castilla. De todo este tramo se han realizado pocos trabajos evolutivos, especialmente recientes; por lo que el estudio de la tendencia de la costa solamente es posible a base de las fotografías aéreas verticales que dispone el banco de datos de Google Earth. Desgraciadamente, esta fuente solamente posee datos recientes de la punta de la flecha de Doñana y no del resto de la playa de Castilla cuya fotografía procede de 2004.

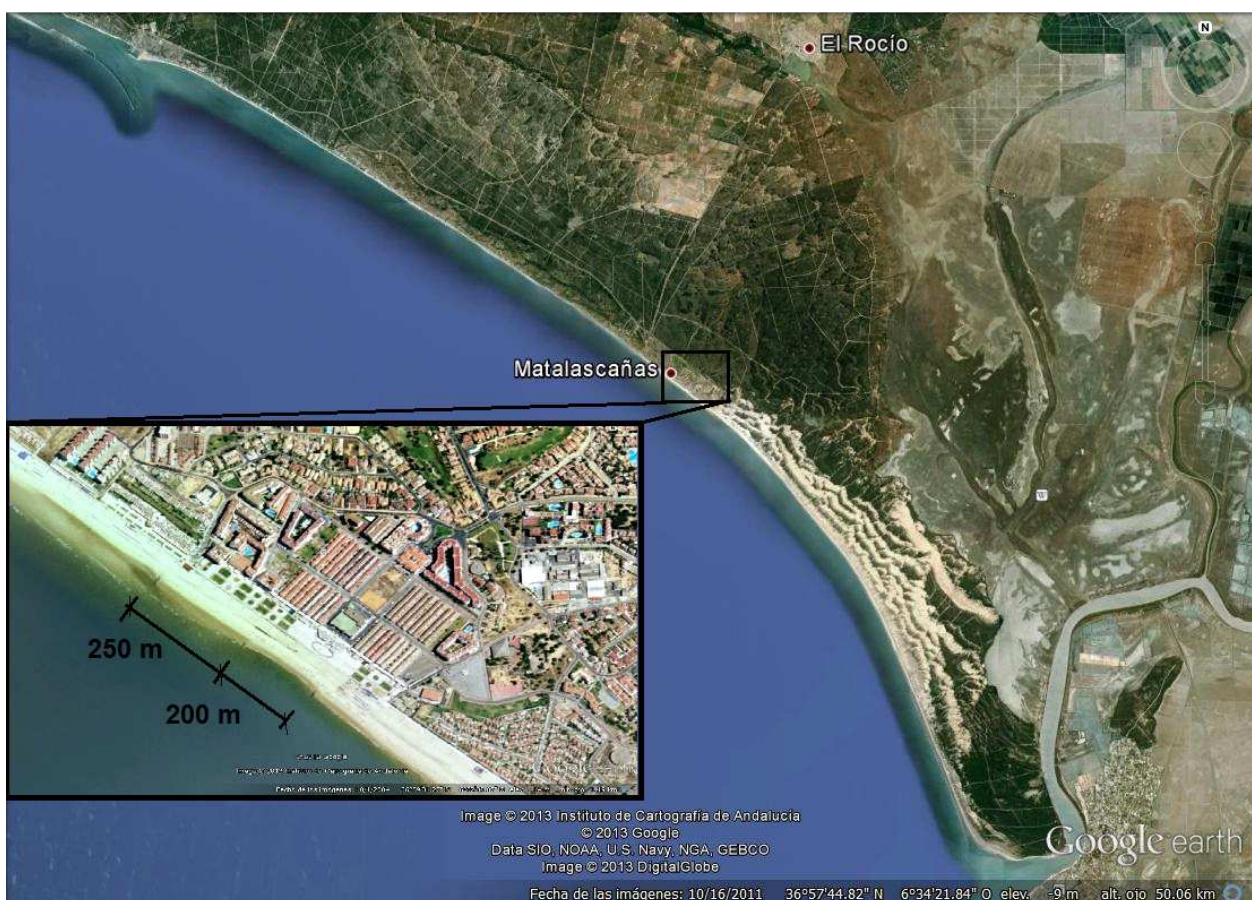


Figura 6.14: Frente de la playa de Castilla y detalle de la playa de Matalascañas en 2004 en la que aparecían tres espigones cortos de unos 30 m de longitud, separados 250 y 200 m respectivamente (fuente: Google Earth – Digital Globe e Instituto Cartográfico de Andalucía)



CEDEX

No parece que este tramo de costa tenga excesivos problemas costeros salvo los que se desprenden del urbanismo costero de la playa de Matalascañas. La punta de la flecha de Doñana no ha variado desde 2004 salvo algún depósito de sedimento que se aprecia justo en el extremo de ella; pero que se ve sometida a la evolución que le condiciona los dragados de la entrada del río Guadalquivir.



7. CONCLUSIONES

Este apartado supone la síntesis del informe parcial, en él se describe la costa con sus formas costeras singulares más importantes, se caracteriza el clima marítimo y dinámica litoral imperante a lo largo del frente de costa onubense, se analiza la evolución de la costa, todo ello basado en datos de los diferentes informes realizados sobre la dinámica litoral y evolución de las costas de Huelva. Finalmente se realiza un estudio de tendencias evolutivas y comportamiento, especialmente centrado en las formas costeras singulares existentes a lo largo del litoral que llevan a mostrar los problemas que presenta esta costa y las variables presentes y futuras que los determinan.

Estos puntos singulares existentes a lo largo de la costa, a la vista de los capítulos anteriores de este informe, tiene una de estas tres características:

- I. Problemas reales en la presente situación
- II. Tramos costeros con carga potencial de incertidumbres, o de determinados "indicadores" que podían hacerlos problemáticos en un futuro más o menos próximo.
- III. Tramos de costa muy sensibles a la, con resiliencia, a la intervención humana y que convendría conocerlos con algún detalle

Las cinco formaciones costeras singulares que se indican en el capítulo 2, apartado 2.4, y capítulo 6, son:

- Desembocadura del río Guadiana
- Flecha del Rompido
- Flecha de Punta Umbría
- Flecha de Huelva
- Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir

1) En el primero de los tramos, desembocadura del río Guadiana e Isla Cristina, los posibles problemas que puedan aparecer se centran:

- Lugares de concentración de energía y lugares abrigo de energía debido a los bajos
- Reducción de transporte longitudinal en el tramo del delta con una tendencia erosiva en el tramo contiguo
- Reducción de aportes del río a la costa adyacente por la posible absorción de éstos por las futuras zonas de marismas
- Conflicto en la salida del río Carreras, Isla Cristina, entre el transporte de sedimentos y el uso portuario
- Anchura estricta frente a las urbanizaciones en las playas de Islantilla y Antilla

En la actualidad, en el tramo de Isla Canela, donde se tuvo que regenerar la playa en 2002 la costa es más vulnerable debido a que en el trasdós, la urbanización forma un entrante en la



franja natural de playa; si bien, la regeneración y crecimiento de bajos frente a ella haga que a la larga este problema se mitigue; aunque, hoy en día no se encuentra resuelto, con importantes acumulaciones a poniente y erosiones graves a levante. Problemas de vulnerabilidad, por anchura estricta de las playas de Islantilla y la Antilla frente a las urbanizaciones

2) El segundo de los tramos, formado por la Flecha del Rompido, parece que el crecimiento de su punta se ha detenido, con muchas posibilidades que finalice formando un cordón litoral con una o dos golas de salida. Con esta proyección futura cabe esperar ciertos problemas que podrían centrarse en:

- Compatibilidad de las golas y navegación con el transporte sólido litoral
- Absorción de arena del conjunto en detrimento de las playas de aguas abajo hasta que la forma costera final se haya regularizado y estabilizado
- Problemas locales de concentración de energía debido a los bajos y su evolución

A ello habría que unirle la posibilidad que con una cierta avenida se abriese otra nueva gola más cerca del arranque.

3) El tercer tramo, Punta Umbría, se encuentra íntimamente ligado al cuarto, flecha de Huelva; dado que ambos forman la desembocadura de los ríos Odiel y Tinto. Los problemas que pudieran aparecer, según se desprende de su tendencia evolutiva, se centraría en la reducción de calados en el canal de Punta Umbría y un incremento, como consecuencia, del avance de la playa de la flecha de Huelva apoyada en el dique de Juan Carlos I del Puerto de Huelva.

4) El cuarto tramo, flecha y canal de Huelva, no es esperable que crezca de manera significativa la playa apoyada en el Dique; produciéndose en movimiento de sedimento y recrecimiento de los depósitos en la zona intermareal y bajos; no aflorando a playa seca.

El crecimiento continuado de la playa apoyada en el puerto de Mazagón puede ser perjudicial a las playas próximas a levante, donde el transporte sólido litoral neto invierte su sentido para tomar dirección este y las playas a poniente en el interior de la ría donde no les llega material.

El mantenimiento del canal de Huelva y del propio puerto de Mazagón hará que todas las arenas dragadas se pierdan para el transporte sólido litoral, debiéndose estudiar la gestión de estos sedimentos para que sean útiles para el mantenimiento adecuado de las playas a levante.

5) El quinto tramo, Flecha de Doñana y desembocadura del río Guadalquivir, no parece que tenga excesivos problemas costeros; salvo los que se desprenden del urbanismo costero de la playa de Matalascañas, donde existen problemas de erosión y vulnerabilidad de la costa. La punta de la flecha de Doñana no ha variado desde 2004 salvo algún depósito de sedimento que se aprecia justo en el extremo de ella sometida y condicionada por los dragados de la entrada del río Guadalquivir. La pérdida continuada de sedimento debido al dique del Puerto de Huelva y la desembocadura del río Guadalquivir hace que todo este tramo tenga una tendencia erosiva.



CEDEX

Los autores del informe:

Coordinador del Programa Técnico
Científico

Fdo: José Manuel de la Peña Olivas
(Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y
Puertos)

Fdo: Ana Isabel Antón Camacho
(Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos)

EXAMINADO Y CONFORME:

El Director de la U. A. De I+D+i

Fdo: Antonio Lechuga Álvaro
(Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos)

Vº Bº.

El Director del Centro de Estudios de Puertos y Costas

Fdo: José María Grassa Garrido

ANEJO I

Referencias técnicas



A-I. REFERENCIAS TÉCNICAS

INFORMES TÉCNICOS REALIZADOS POR EL CEDEX

- 1) Ángel Martínez, María del Carmen (2000). *Síntesis y análisis del estado actual del conocimiento de las variables ambientales del estuario del Guadiana*; Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (Informe técnico nº 51-400-1-029 para la Dirección General de Costas).
- 2) Berenguer Pérez, José María (1979). *Estudio previo de regeneración de la playa de Matalascañas (Huelva)*; Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" del CEDEX.
- 3) Berenguer Pérez, José María (1983). *Seguimiento de las obras de defensa de las playas de Matalascañas (Huelva)*; Centro de Estudios y Experimentación de Puertos y Costas "Ramón Iribarren" (Informe técnico para la Dirección General de Puertos y Costas).
- 4) Buceta Miller, José Luis. (2002). *Elaboración de una Guía Metodológica para la Realización de Estudios de Impacto Ambiental de Extracción de Arenas*. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. (Informe técnico nº 23-402-5-025 para Dirección General de Costas).
- 5) Laboratorio de Puertos "Ramón Iribarren" (1979) *Estudio de la dinámica litoral en la costa peninsular mediterránea y onubense: provincias de Huelva y Cádiz*, (Informe técnico para la Dirección General de Puertos y Costas).
- 6) Lechuga Álvaro, Antonio (1996). *Estudio de la dinámica litoral y propuesta de actuación entre la desembocadura del río Guadiana y del río Carreras (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-496-5-059 para la Dirección General de Costas).
- 7) Lloret Capote, Ana (1996). *Estudio de la operatividad e influencia de una marina en el estuario del río Guadiana (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 23-596-5-012 para el Gabinete de Estudios Ambientales).
- 8) Lloret Capote, Ana. (1998). *Estudio de Variables Ambientales en el Tramo Onubense del Río Guadiana*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. (Informe técnico nº 23-997-5-002 para Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Las Aguas).
- 9) Medina Villaverde, José María (1991). *Dinámica litoral de la zona de Punta Umbría (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-491-9-103 para la Dirección General de Puertos y Costas).
- 10) Medina Villaverde, José María (1991). *Dinámica litoral de la Flecha del Rompido (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-417-9-098 para la Dirección General de Costas).
- 11) Medina Villaverde, José María (1995). *Evolución de la playa apoyada en el dique Juan Carlos I (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-494-9-126 para Puertos del Estado).



- 12) Medina Villaverde, José María (1996). *Evolución de la playa apoyada en el dique Juan Carlos I (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-496-9-137 para Puertos del Estado).
- 13) Medina Villaverde, José María (1997). *Estudio de la dinámica litoral y propuesta de actuación entre la desembocadura del río Guadiana y del río Carreras (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-496-5-059 para la Dirección General de Costas).
- 14) Medina Villaverde, José María (1997). *Dinámica litoral y análisis evolutivo de las formaciones costeras entre la desembocadura del río Guadiana y del río Carreras (Huelva)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-997-5-009 para la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas).
- 15) Medina Villaverde, José María (1999). *Estudio previo de trasvase de arenas en la ría de Huelva*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-499-9-152 para Puertos de Estado).
- 16) Peña Olivas, José Manuel de la (1991). *Estudio sobre la dinámica sedimentaria del tramo exterior del canal del puerto de Huelva*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-491-9-104 para la Dirección General de Puertos y Costas).
- 17) Peña Olivas, José Manuel de la (2003). *Estudio del estuario del río Guadiana* (Informe técnico nº 22-491-9-104 para la Dirección General de Puertos y Costas).
- 18) Ruiz Mateo, Antonio (1998). *Estudio de variables ambientales en el tramo onubense del río Guadiana*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 23-997-5-0001 para la Dirección General de Costas).
- 19) Velasco Munguira, Aida (2010). *Estudios ambientales de actuaciones específicas. Evaluación del material a dragar en el puerto de Mazagón (Huelva) para su aprovechamiento en la regeneración de playas*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 20-410-5-001 para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar).

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS TÉCNICAS

Álvarez Alvarado, José (1995). *Asistencia técnica del estudio y propuesta de soluciones para la playa de Isla Canela (Ayamonte): Estudio de Clima Marítimo. Estudio de Capacidad de Transporte Litoral. Propuesta de Actuación*; Consomar, S.A. (informe técnico para la Dirección General de Costas).

CEDEX (2003). *Guía Metodológica para la Realización de Estudios de Impacto Ambiental de Extracción de Arenas para la Regeneración de Playas*; Dirección General de Costas.

Consejería de Medio Ambiente (1998). *Praderas de Fanerógamas Marinas en el Litoral Andaluz. Guía de Especies Marinas Amenazadas*; Aula del Mar de Málaga - Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Consejería de Medio Ambiente e Instituto da Conservação da Natureza (2001). *Mapa Fisiográfico del Litoral Atlántico Algarve-Andalucía*; Junta de Andalucía y Ministerio do Ambiente e do Ordenamento do Território de Portugal.

- Dabrio, C.J. (1982). *Historia y dinámica de nuestras costas*; Ed. P.F. Martín – Ayuntamiento de Cartaya.
- Dabrio, C.J. y M.D. Polo (1984). *Influencia humana en el litoral*; 2ª Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio – Lérida.
- Enríquez Fernández, Javier (1997). *Estudio de evolución de las playas de Isla Canela, líneas de actuación*; HIDTMA, S.L.
- Enríquez Fernández, Javier (2000). *Estudio integral de la costa de Huelva- Dinámica litoral*; HIDTMA, S.L. (Informe técnico para la Dirección General de Costas).
- Folk, R.L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rock*; Hemphill Publishing Company.
- HIDTMA (2011). *Plan Director para la Gestión Sostenible de la Costa. Demarcación Hidrográfica de Guadiana y Guadalquivir*; Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (5 tomos).
- Lechuga, Antonio y José María Medina (1991). *Coastal dynamics and beach morphology. The cases of Rompido arrow and Fuente del gallo beach*. COPEDEC.
- Lechuga, Antonio y José María Medina (1992). The Punta Umbria (Huelva) Spit. ICCE 1992, Venecia (2233-2241).
- Lechuga Álvaro, Antonio, José Manuel de la Peña Olivas y José María Medina Villaverde (1994). *Coastal dynamics in Huelva (Spain)*; International Navigation Congress (section II, subject 4, pp. 119 a 125).
- Medina, José María (1991). *La flecha del rompido en la dinámica litoral de la costa onubense*; Revista de Ingeniería Civil (nº 80, pp. 103 a 114).
- Medina Villaverde, José María y José Manuel de la Peña Olivas (1992). *Formaciones costeras onubenses*; Revista de Ingeniería Civil (nº 83, pp. 105 a 110).
- Medina, José M. y José M. de la Peña (1992). *Formaciones costeras onubenses*; I Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos (207-217).
- Melieres, F. (1974). *Recherche Sur la Dynamique Sedimentaire du Golfe de Cádiz (Espagne)*; Universidad de Paris.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1992). *Recomendaciones para obras marítimas. ROM 0.3-91. Oleaje. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español*; Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del MOPT.
- Morales, J.A., J.G. Pendón y J. Borrego (1994). *Origen y evolución de flechas litorales recientes en la desembocadura del estuario mesomareal del río Guadiana (Huelva, SO de España)*; Revista de la Sociedad Geológica de España (vol. 7 (1-2), pp. 155 a 167).
- Morales González, Juan Antonio (1993). *Sedimentología del estuario del río Guadiana (SW España-Portugal)*; Tesis Doctoral – Universidad de Sevilla (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva- 1995).



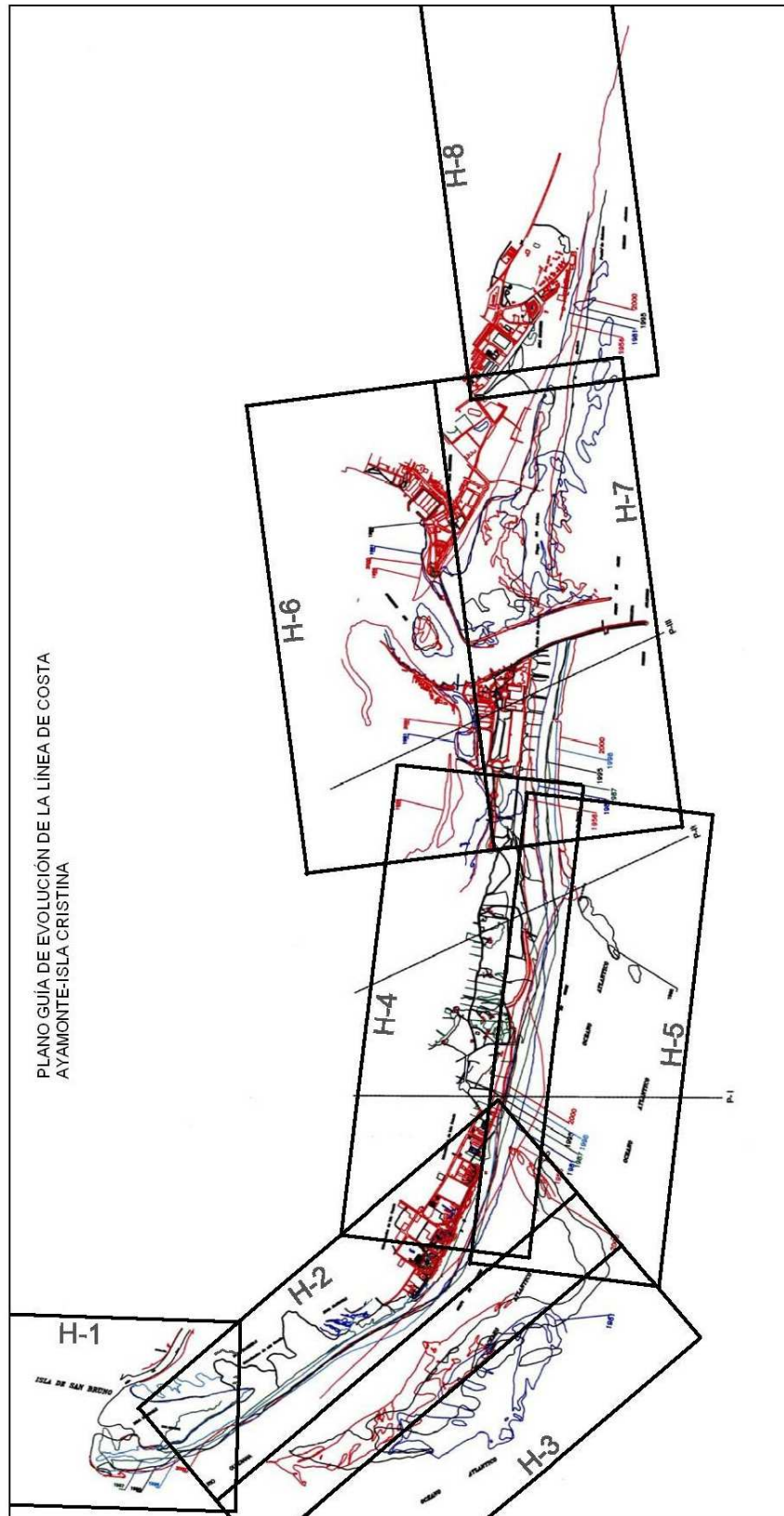
- Morales González, Juan Antonio (1995). *Evolución temporal de la playa de Isla Canela*; Informe Técnico.
- Morales, J.A., F. Ruiz e I. Jiménez (1997). *Papel de la sedimentación estuarina en el intercambio sedimentario entre el continente y el litoral: el estuario del río Guadiana (SO de España-Portugal)*; Revista de la Sociedad Geológica de España (vol. 10 (3-4), pp. 309 a 325).
- Niell Castanera, F. Xavier, Vicente Cubero Ramírez y Carlos Jiménez Gómez. (1998). *Informe Final del Convenio de Colaboración entre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas y la Universidad de Málaga para la Investigación Conjunta sobre Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en el estuario del Río Guadiana*; Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga.
- Peña Olivas, José Manuel de la y José María Medina Villaverde (1992). *Dinámica sedimentaria exterior del canal de Huelva*; Revista de Ingeniería Civil (nº 85 pp. 43 a 45).
- Peña Olivas, José Manuel de la y Francisco J. Sánchez Palomar (2001). *Estudio evolutivo y situación actual de las playas de La Concha y Ondarreta, San Sebastián (Guipúzcoa)*; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Informe técnico nº 22-401-5-102 para la Dirección General de Costas).
- Peña, José M. de la, Fernando Rambaud y Juan M. Prada (2002). *Metodología para el estudio de la evolución de la costa a largo plazo*; Revista de Ingeniería Civil (nº 126, pp. 125 a 135).
- Puig de la Bellacasa y Sánchez, Narciso (1921). *Nociones de Geología y Geografía Física aplicadas a la Ingeniería*; Imprenta de Ramona Velasco, viuda de Prudencio Pérez.
- Rambaud, F., J.M. de la Peña y J.M. Prada ((2001). *Estudio de la línea de costa en los últimos 2500 años y su afeción a los puertos de Cádiz, Ampurias y Cartagena*; VI Jornadas Españolas de Costas y Puertos – Palma de Mallorca.
- Rey, Jorge J. y Teresa Medialdea (1989). *Los Sedimentos Cuaternarios Superficiales del Margen Continental Español*; Instituto Español de Oceanografía (Publicaciones Especiales nº 3).
- Vicente, Claudino y Manuel Clímato Pereira (2001). *Estudo das condições ambientais no estuario do Guadiana e zona costeira adjacente. 2ª fase. Componente de dinámica costeira*; Laboratorio Nacional de Engenharia Civil – Ministerio do Equipamento Social.
- Zazo, C. (1980). *El Cuaternario marino-continental y el límite Plio-Pleistoceno en el litoral de Cádiz*; Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

ANEJO II

Planos de evolución entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Guadalquivir

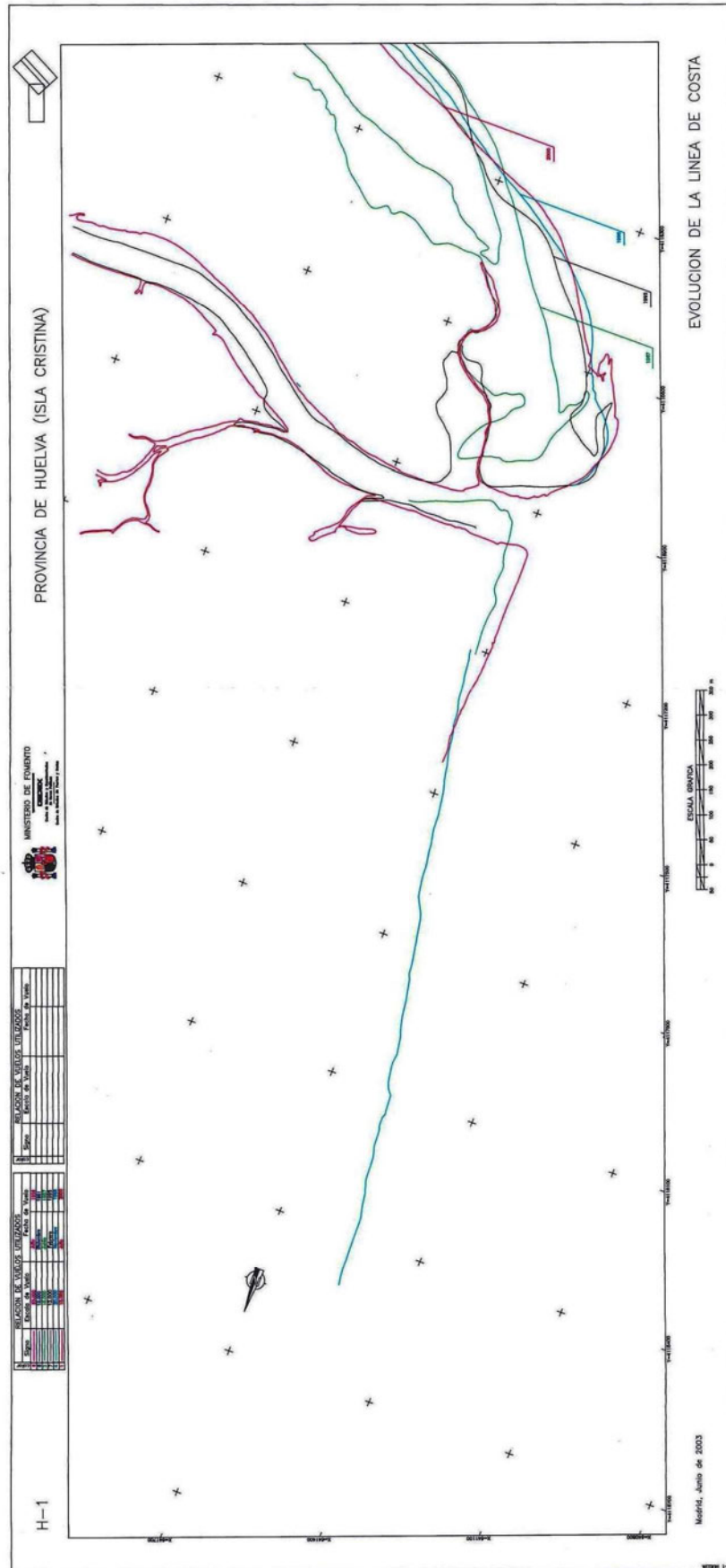


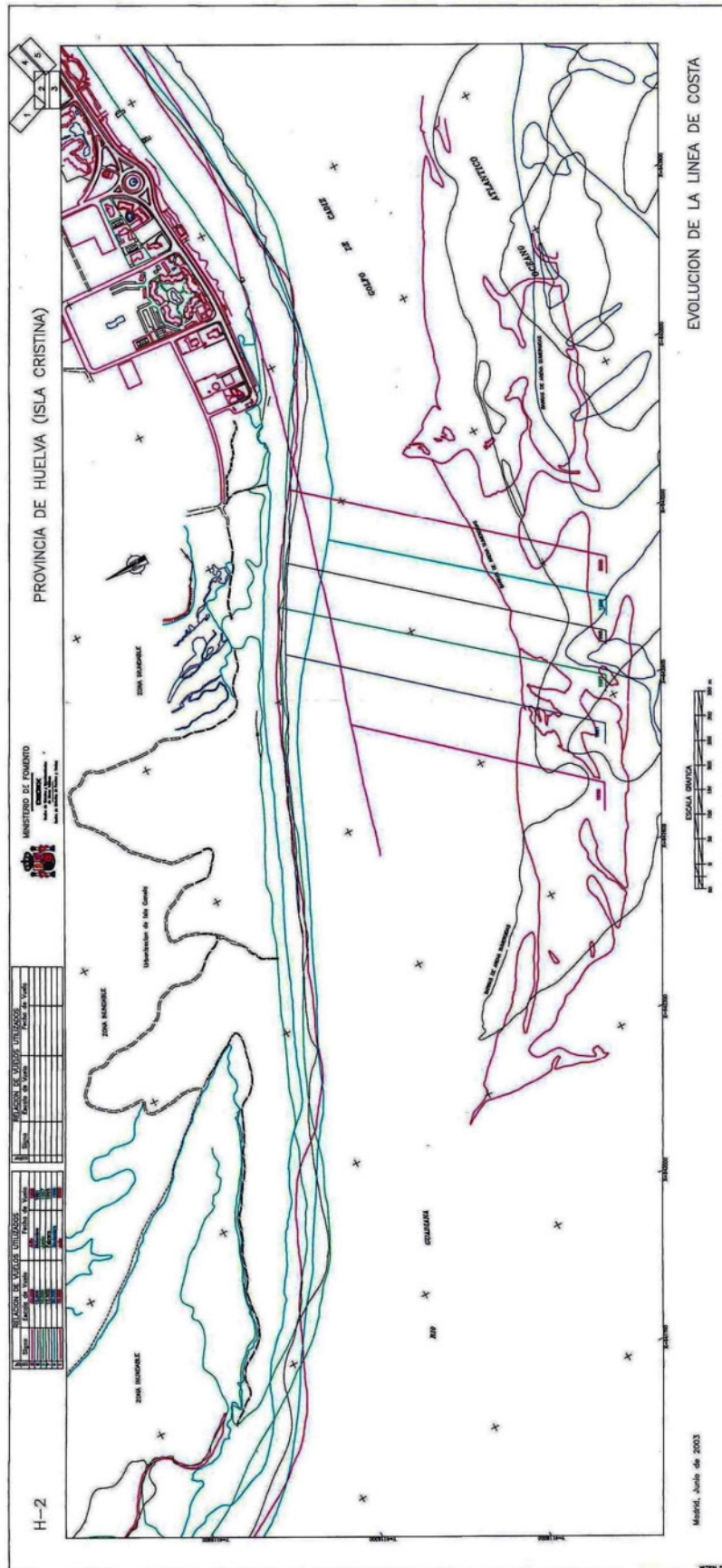
A-II. PLANOS DE EVOLUCIÓN





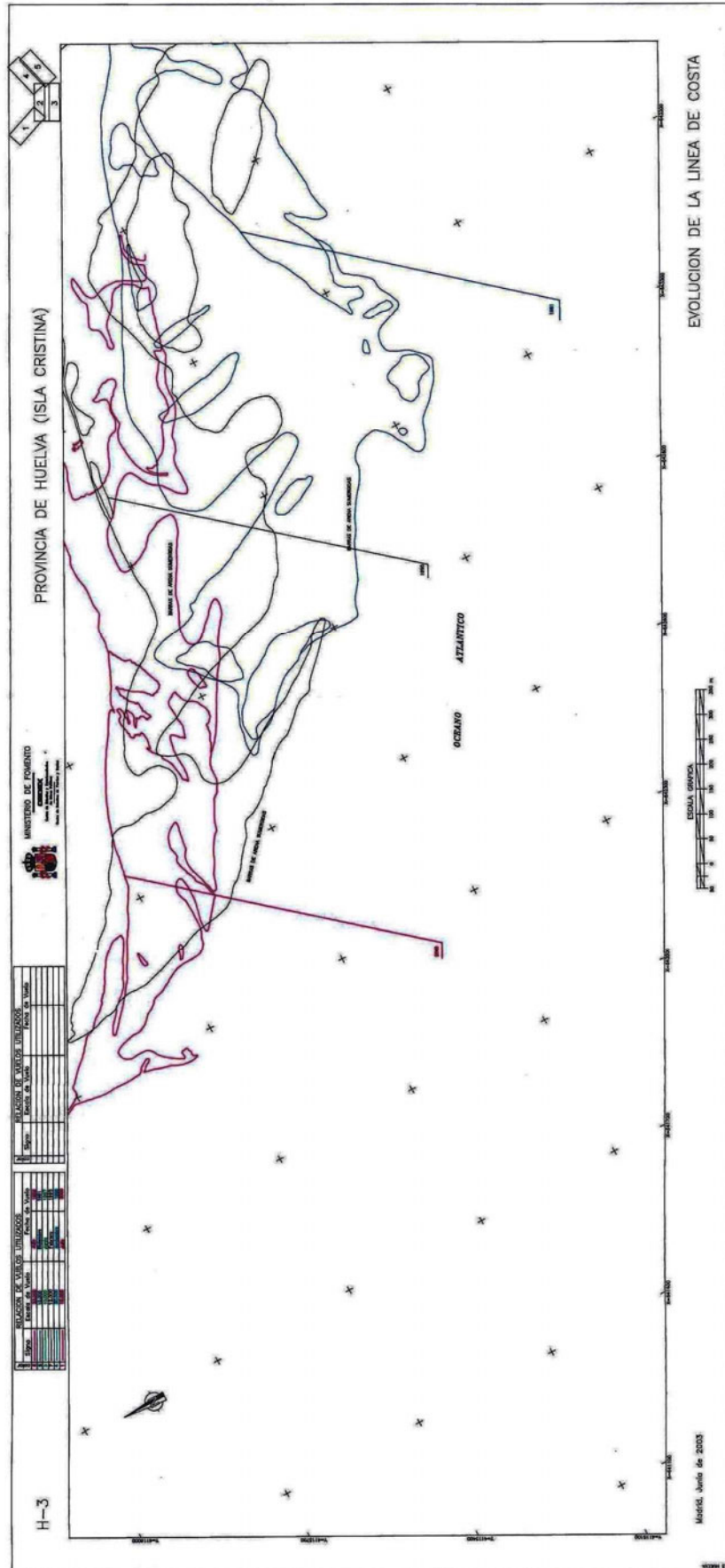
CHDEX

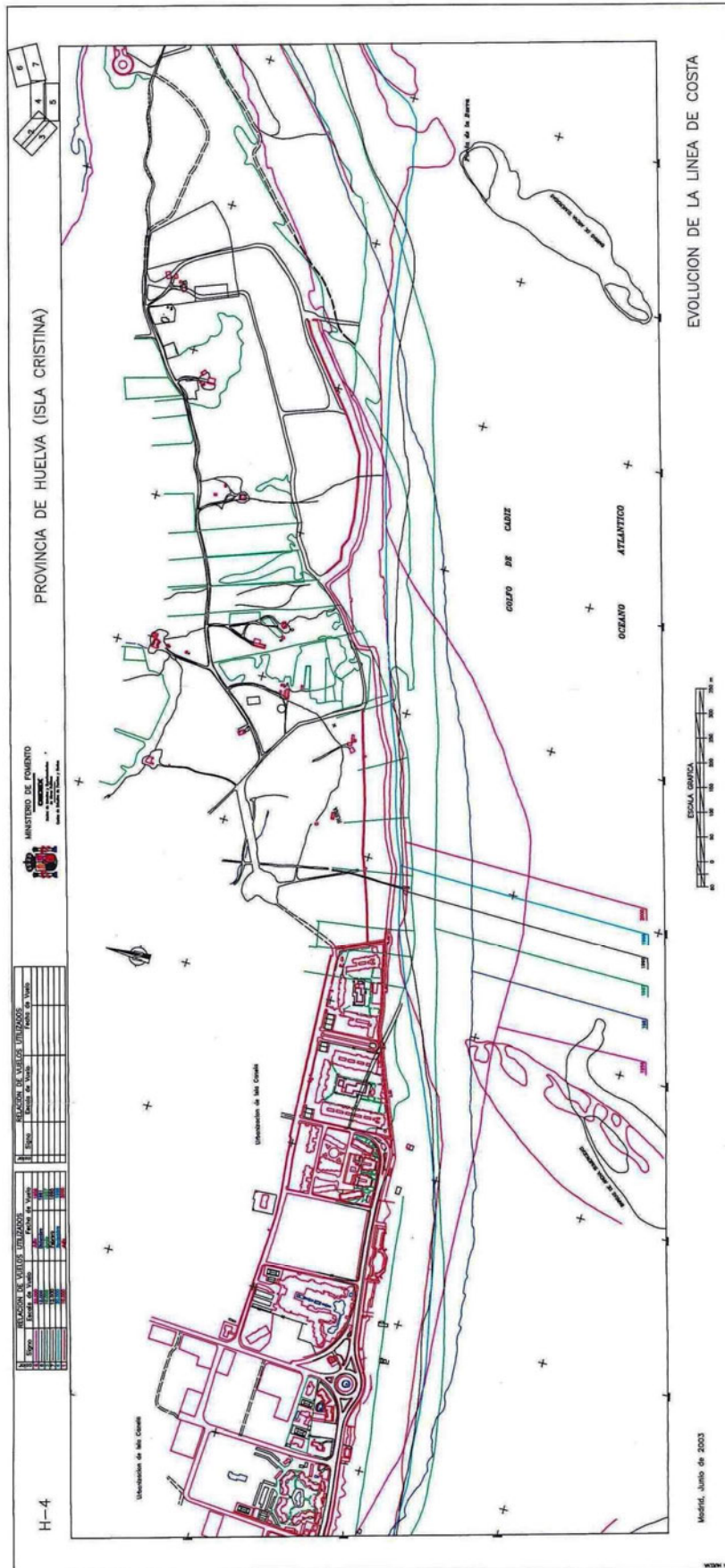






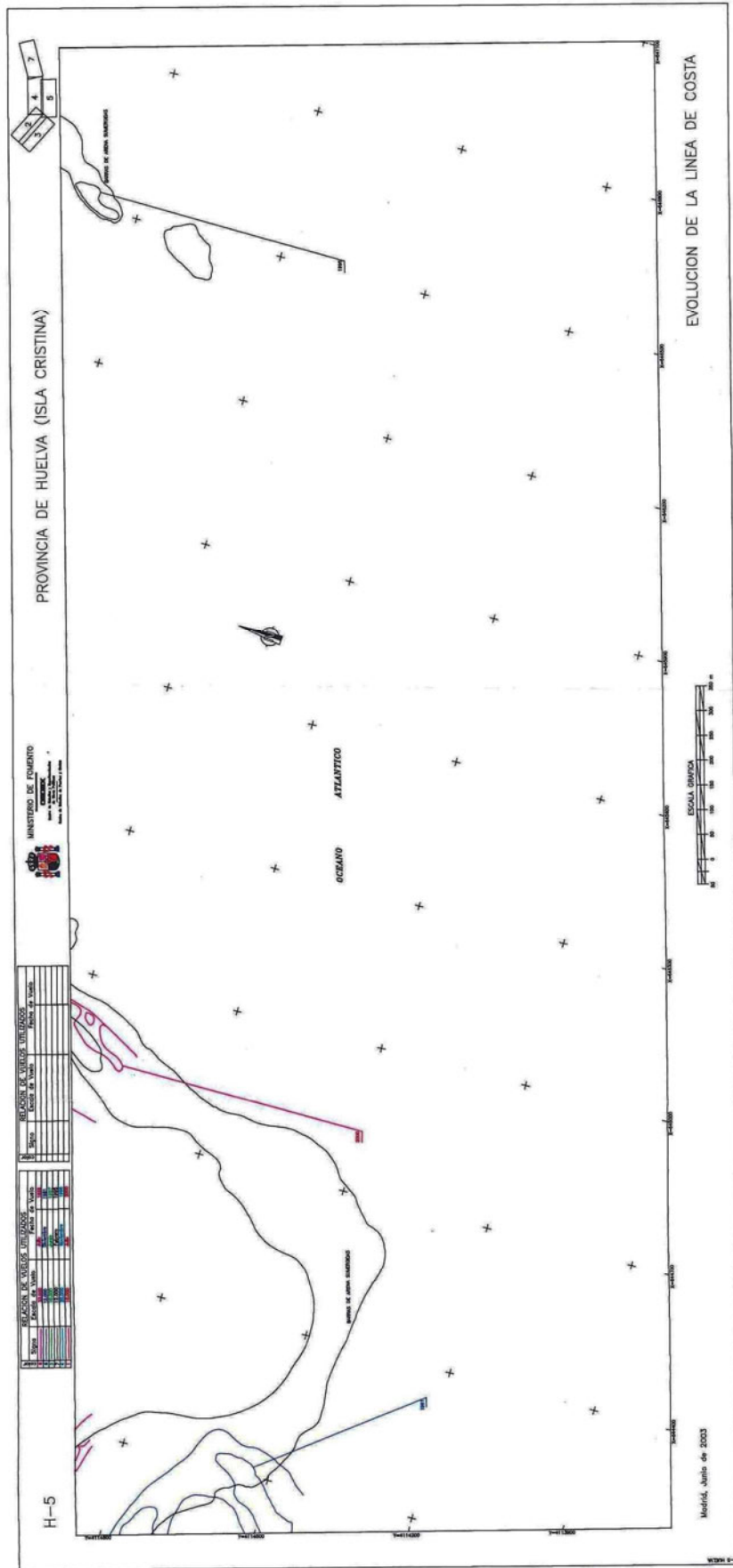
CHDEX

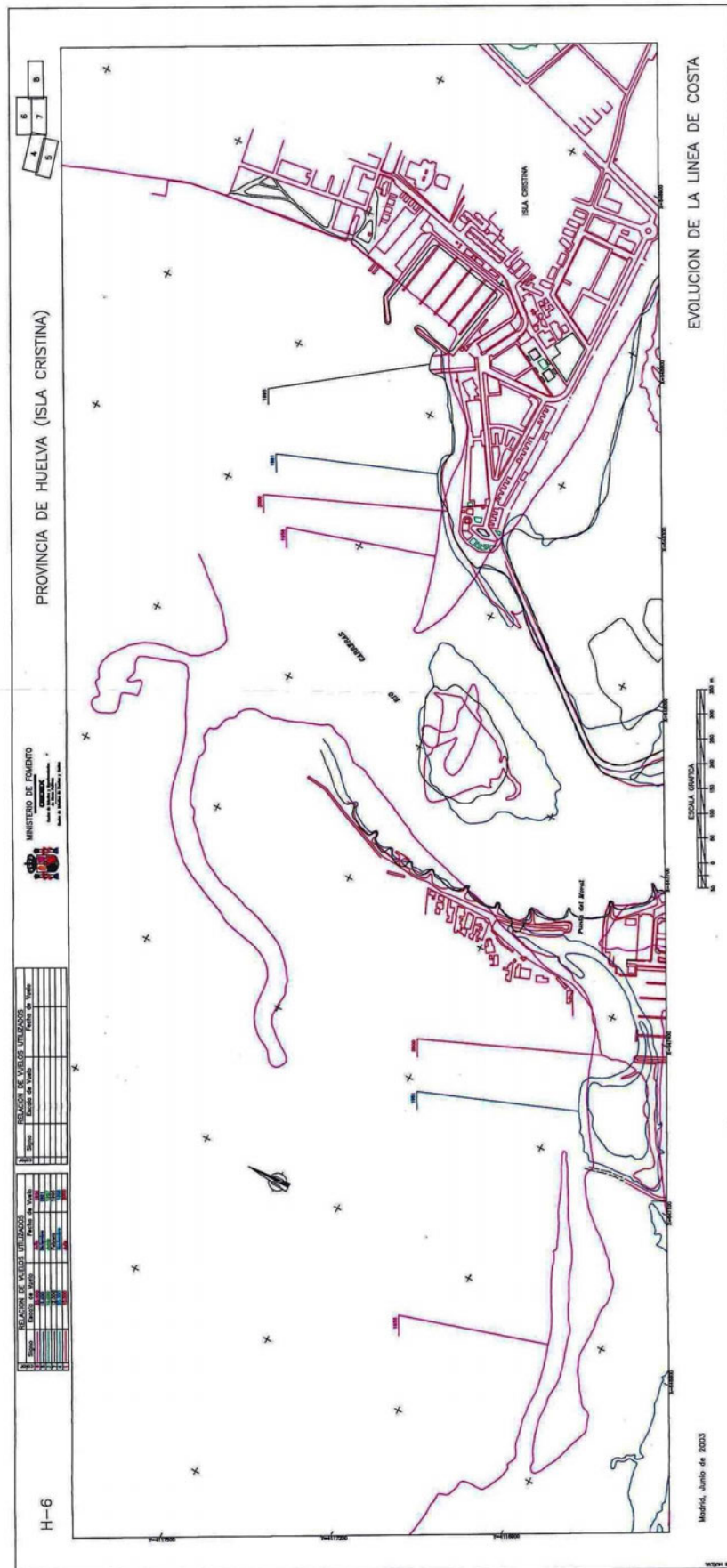






CODEX







CIPIEX

