

La integración del conocimiento y sus limitaciones en el caso de los Baños del Carmen (Término Municipal de Málaga)

Máster oficial en Gestión Integrada de Áreas Litorales. Orientación: Gestión.
Universidad de Cádiz. Curso 2007-08.

Datos del Alumno

DNI: 25.688.343

Nombre y Apellidos: Salvador Espada Hinojosa

Titulación de origen: Licenciado en Ciencias del Mar

Datos del Tutor

Nombre y Apellidos: Juan Manuel Barragán

Licenciado en: Geografía

Doctor en: Geografía

Centro o Facultad: Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Cádiz

Fecha: 29/11/1985



simbiodiversidad.wikispaces.com
Fotografía por cortesía de Thalassamo

Índice

Introducción	1
Hipótesis de trabajo y objetivos	5
Metodología	
Caracterización del clima marítimo y de la dinámica litoral asociada	5
Registro de oleaje visual de los barcos en ruta en el Mar de Alborán	5
Cómputo de la predicción meteorológica del oleaje en el punto de la Red WANA	6
Boya escalar	7
Parámetros del oleaje	8
Teorías de ondas y rangos de validez	9
Aguas profundas, intermedias y someras	10
Asomeramiento y propagación del oleaje	10
Rotura de ola	13
Oleaje extremal	14
Fricción por fondo	15
Transporte sedimentario longitudinal	15
Celdas litorales	18
Aportes fluviales	18
Balance sedimentario	20
Mineralogía y grano	21
Caracterización de las comunidades biológicas	22
Génesis de las alternativas de intervención	26
Opciones de manejo costero	26
Resultados	27
Incertidumbre en la determinación de los parámetros del oleaje	27
Límite exterior de la interacción con el fondo	28
Incertidumbre en la estimación del transporte sedimentario longitudinal	31
Esfuerzo de muestreo en la caracterización del bentos	31
Incertidumbre en la identificación de las comunidades biológicas	33
Alternativas a la progradación artificial de la costa	34
Discusión	35
Conclusiones	40
Referencias	40

Introducción

Las disciplinas involucradas en la descripción del litoral forman un amplio abanico. La representación de la dimensión espacial de los procesos litorales cuenta con el interés de la disciplina geográfica. Desde el campo de las ciencias naturales, la oceanografía de costas y la dinámica litoral acumulan desarrollos para la comprensión de los procesos de acreción, transporte y erosión costera, mientras que la química ambiental nos informa de la contaminación y la polución que potencialmente pueda estar teniendo lugar. La ecología de las comunidades marinas y costeras presentes es objeto de estudio por parte de las disciplinas biológicas. Otras ciencias sociales, como el derecho o la economía, abordan además los aspectos relacionados de los fenómenos humanos en su particular manifestación en la costa.

Cada uno de estos campos del conocimiento presenta en la actualidad un “estado del arte”, con unos logros y unas limitaciones que son el objeto del presente estudio, en atención a las implicaciones que esto conlleva para la gestión integrada del litoral andaluz, y tomando los elementos de un proyecto de intervención costera como apoyo a modo de estudio de caso.

La Gestión Integrada de Zonas Costeras (GIZC) representa una herramienta extendida internacionalmente que pretende la conciliación de las desavenencias entre la conservación de la funcionalidad del ecosistema que alberga los procesos humanos en la franja litoral, y la intensidad del desarrollo económico en éste. La Estrategia Andaluza de Gestión Integrada de Zonas Costeras (EA-GIZC) es la expresión de esta herramienta en Andalucía (Barragán et al., 2008), una tierra donde el Mar antiguo y presente impregna la idiosincrasia y el carácter de un pueblo. Los objetivos de la propuesta de EA-GIZC se orientan a la explicitación de un proceso de concertación entre los niveles de la administración y más allá de ésta. Por otra parte, el conocimiento sobre el litoral andaluz representa una base para su gestión, mientras que el grado de integración de este conocimiento puede condicionar la capacidad para realizar una gestión integrada.

El documento de la propuesta de EA-GIZC identifica la “alteración de los procesos naturales” (tema clave nº2) como uno de los primeros elementos de su diagnóstico, planteándose como objetivo operativo “el replanteamiento de determinadas obras públicas, incluidas las infraestructuras y los procesos de urbanización”.

El caso los Baños del Carmen es el de una playa de funcionamiento natural inserta en el casco urbano de la principal ciudad costera andaluza, la Ciudad de Málaga, y aporta algunos ejemplos de como puede manifestarse esta problemática. Los Baños del Carmen es el nombre que recibe un enclave de la costa oriental de la ciudad de Málaga y desde el punto de vista geomorfológico está constituido por tres pequeñas playas a las que denominamos playas de poniente, central y de levante, con un roquedal (remanente del dique de un antiguo puerto) situado entre las playa central y la de poniente, a los pies del edificio histórico que en la actualidad hace las veces de restaurante. El acantilado sirvió en tiempos históricos para la extracción de las piedras que habrían de usarse para la construcción del puerto de Málaga, con lo que el lugar ha conocido distintas fisonomías pintorescas a lo largo de la historia, desde aquel “Puerto de la Cantero” a constituir una ciénaga, que tras ser desecada pasaría ya en los principios del siglo XX a albergar un Balneario, acogiendo el primer terreno de juego del club de fútbol local, y las pistas de tenis más antiguas de la

ciudad (que datan de comienzos del siglo XX), así como un camping hasta principios de la década pasada en la playa de levante.

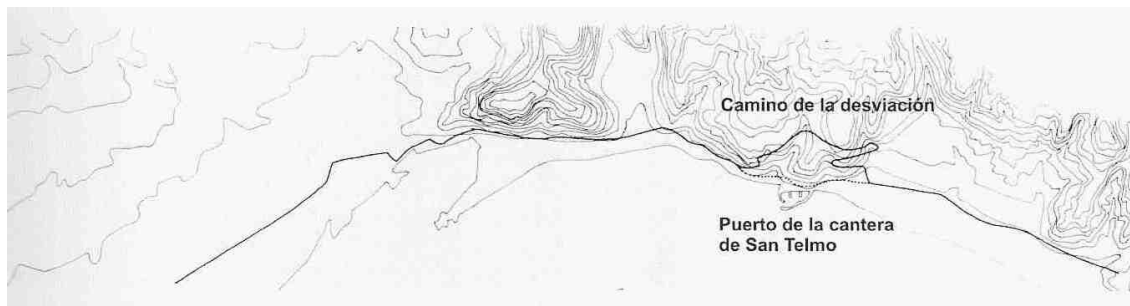


Figura 1. La costa en 1882. Fuente: Reinoso (2005)

La zona costera malagueña de los Baños del Carmen recibe la atención de la administración local y del nivel central al menos desde 1983, articulándose la concertación en lo que se denomina una actuación integrada consistente en su faceta terrestre por una figura de desarrollo urbanístico con forma de Plan Especial de Reforma Interior, a llevar a cabo por el Ayuntamiento con fondos aportados por la administración central, y en la parte costera por un Proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen. En el caso de los Baños del Carmen, la actuación pública se plantea realizar una intervención costera y en la redacción del proyecto se incluye información sobre el clima marítimo, la dinámica litoral y una propuesta de actuación ingenieril consistente en la compartimentalización costera, mediante el recrecimiento de dos diques perpendiculares a costa y el aporte de arena alóctona. En la elaboración de cada parte de la caracterización de los procesos, desde el establecimiento del clima marítimo a la cuantificación del transporte longitudinal, pasando por la propagación del oleaje, los actuales "estados del arte" presentan luces y sombras, por lo cual la labor de sustento de la base científica del proceso de toma de decisiones puede beneficiarse de una mayor visibilización de las asunciones realizadas y de las limitaciones de la comprensión actual existente sobre los complejos procesos que actúan en el litoral.

El proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen (término municipal de Málaga) identifica como las causas de la recesión costera en esta playa urbana la disminución de los aportes fluviales a raíz de la urbanización y el encauzamiento y embovedamiento de los arroyos de la zona (el arroyo Jaboneros a poniente, en el barrio del Palo, y otros aún menores) y la interrupción del transporte longitudinal por la intervención realizada a levante de la zona en los años 80, con la construcción de espigones "en concha" en las playas de los barrios de Pedregalejo y el Palo. Todo ello se materializa en un cierto retroceso de la línea de costa constatado para la zona de los Baños del Carmen en las imágenes tomadas en los sucesivos vuelos de los que se dispone información, especialmente palpable en la parte de Poniente.

Como parte del proyecto de regeneración de la playa se realiza el levantamiento de la batimetría de detalle y de la topografía de la playa seca, realizándose la propagación de los oleajes caracterizados desde un estudio del clima marítimo. Con las determinaciones de la propagación se estima el transporte sedimentario longitudinal considerándolo proporcional al flujo de energía incidente por el oleaje, obteniéndose la dirección de la deriva litoral en la zona y cuantificando su magnitud.

El error en el establecimiento del transporte sedimentario se nutre de la dificultad de acotar la variabilidad de procesos tan complejos como el oleaje y su interacción con el fondo marino. Para el oleaje se dispone de sucesivas teorías de complejidad creciente partiendo de

la Teoría lineal de Airy en profundidades indefinidas, y recorriendo una serie de teorías de ondas no lineales como las diferentes versiones de Stokes y la teoría Cnoidal. Estas formulaciones pueden ser empleadas en diferentes rangos de profundidad en base a sus posibles ámbitos de aplicación determinados por las características de las olas, hasta que desembocan en la rotura.

La dificultad del tratamiento del oleaje se debe en primera instancia a su carácter de fenómeno ondulatorio, forzado además por fenómenos atmosféricos de alta irregularidad, e interactuando con la irregularidad propia de la superficie terrestre. Los registros de datos de oleaje accesibles en el caso de los Baños del Carmen provienen de las observaciones visuales en una zona amplia del Mar de Alborán, a lo largo de cuatro décadas, de la boya escalar colocada en las proximidades de la zona de estudio y de las predicciones meteorológicas proporcionadas por la red WANA del Instituto Nacional de Meteorología.

En la génesis de las alternativas del proyecto de regeneración, se consideran tan sólo variantes de una misma filosofía de intervención. El equipo redactor del proyecto opta por suplir la disminución de sedimento en el sistema constatada para las últimas décadas con la realización de obras de protección en forma de espigones y con la aportación de áridos, avanzando la línea de costa hacia mar adentro desde su situación actual.

La actuación a realizar también es considerada en el mismo proyecto desde el punto de vista de su posible afección medioambiental. En este sentido, el documento de la propuesta de EA-GIZC también identifica como problema del litoral andaluz la "degradación de hábitats naturales y pérdida de la biodiversidad" (tema clave nº 6). El proyecto incluye la realización de un inventario ambiental y se caracterizan las diferentes comunidades marinas presentes, mediante la filmación en video de la realización de transectos en inmersión, y con la toma de muestras de las aguas y de los sedimentos. Sin embargo, al menos dos especies relevantes presentes en la zona no se encuentran incluidas en dicha descripción de la zona, un endemismo botánico costero (la siempreviva malagueña *Limonium malacitanum*, catalogada en estado de peligro crítico de extinción) y un molusco (el dátil de mar, *Lithophaga lithophaga*, incluido en el Anexo IV de animales y vegetales de interés comunitario que requieren de una protección estricta según la Directiva Hábitat). Sí que se deriva del listado especies presentes el indicio de una contaminación por nitrógeno, dada la presencia de especies indicadoras como algunos poliquetos y algas nitrófilas.

La *Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar* estableció la existencia para cada estado costero de unas líneas de base rectas a partir de las cuales determinar el alcance de su mar territorial. En el caso de España, éstas fueron determinadas por Ley en 1967 y corregidas por Real Decreto en 1977, designándose las coordenadas de los puntos costeros entre los cuales se trazan los segmentos constituyentes de las líneas de base rectas, que marcan así el límite de las "aguas interiores". Toda la Bahía de Málaga se encuentra comprendida en "aguas interiores", con atribuciones autonómicas en materia de pesca. Sin embargo la situación del caladero local es de "agotamiento de los recursos vivos marinos", de forma concordante con lo expresado en el documento de la propuesta de EA-GIZC (tema clave nº5) como problema general del litoral andaluz. La práctica de la pesca de arrastre a profundidades menores de lo permitido (por debajo de la isóbata de los 50 m) es habitual lo cual mantiene, entre otros efectos adversos, a las praderas de fanerógamas marinas al borde de la desaparición, sin menoscabo de la existencia de reductos como los del Parque Natural de Maro-Cerrogordo, e incluso más cercanos (Torrox, Rincón de la Victoria, Puerto del El Candado). El uso de arrecifes artificiales a profundidades mayores de 15 m está siendo incorporado a las posibles medidas públicas cara a la protección

efectiva del ecosistema. Sin embargo, la colocación de éstos es planteada desde un punto de vista sectorial como un tema "pesquero", no considerándose su efecto en la dinámica sedimentaria, y el posible papel que pueden tener como elementos beneficiosos cara a la protección física de la línea de costa contra los fenómenos erosivos.

La relativa pequeña escala del proyecto de regeneración la playa de los Baños del Carmen (el importe de las actuaciones presupuestadas asciende a más de 13 millones de euros) hace que se esté dando una controversia al respecto de la obligatoriedad de la realización de una Evaluación de Impacto Ambiental. Los espigones proyectados rebasan la longitud de 12 m prevista en el ordenamiento jurídico ambiental andaluz vigente en el momento de formulación del proyecto, pero la autoridad ambiental (el Ministerio) ha rehusado someter a Evaluación de Impacto Ambiental el proyecto. Existe oposición ciudadana.

Desde el punto de vista del urbanismo la zona en la que se incardina el lugar de estudio es un punto caliente. El Barrio vecino de Pedregalejo está asentado sobre los terrenos que quedaban del lado de una antigua vía de tren (el desaparecido tren de Vélez-Málaga) hacia la playa. Los Baños del Carmen están sujetos a una figura urbanística de Plan Especial de Reforma Interior que data de 1983, y que en actuación concertada con el Proyecto de Regeneración de la Playa de los Baños del Carmen, dispone una serie de actuaciones en la parte terrestre, en un diseño de actuaciones que está recibiendo críticas por parte de distintos colectivos (de arquitectos y urbanistas, de ecologistas, de "amigos" del lugar, y de plataformas y asambleas ciudadanas) en cuanto a que (entre otras cosas) amenaza la actual arboleda con una linealización continuadora del paseo marítimo con las sustitución de las zonas de playa por pavimento, haciendo progradar ésta al amparo de las obras de protección y de la recarga de árido alóctono. El carácter singular de este espacio, diferenciado del resto de la costa urbana de la capital malagueña, básicamente intervenida y relegada al monocultivo de la playa artificial regenerada con paseo marítimo duro, puede representar una particularización del problema de la amenaza de "homogeneización del paisaje" (tema clave nº1) identificado en el documento de la propuesta de EA-GIZC.

La complejidad del litoral como objeto queda patente en cuanto a tres ámbitos: la línea de costa, cuya determinación permanece borrosa y sigue siendo fuente de desencuentro metodológico; el área de influencia litoral tierra adentro, cuya expresión más nítida y amplia puede ser la de la cuenca hidrográfica; y el área de influencia costera mar adentro, como fuente de recursos y sumidero de nuestros residuos, cuanto menos.

La representación cartográfica del litoral andaluz afronta dificultades no siempre suficientemente reconocidas. El propio objeto a representar es de una naturaleza incierta. Se maneja con asiduidad el término de la "línea de costa" y podemos encontrarla representada en los mapas topográficos y en las cartas náuticas del litoral andaluz a diferentes escalas. Para la costa española diversas fuentes difieren en las cifras que atribuyen a su longitud total, así mientras en la Exposición de Motivos de la Ley de Costas se cifra en 7.880 kms, el IGN en 7.921 kms, mientras el CIA World Fact Book la establece en 4.964 kms y la Agencia Europea de Medio Ambiente en 9.082 kms. El origen de esta disparidad fue ya explicado en los trabajos de Lewis Fry Richardson y de Benoit Mandelbrot (1967), usándolo este último como elemento para la creación de los fractales. Desde este enfoque la naturaleza de la "línea de costa" adquiere otra significación, no tanto caracterizada por una longitud ya que no permanece invariante respecto de la escala, si no por una "dimensión fractal" que nos puede proporcionar información sobre la rugosidad de la costa en ese tramo y que puede ser usada para su clasificación geomorfológica.

Hipótesis de trabajo y objetivos

La hipótesis de trabajo que se propone es:

"La integración en el conocimiento sobre el litoral es limitada. El seguimiento del error en cada una de las disciplinas puede ayudar a dicha integración."

Para ello se aborda la cuestión de la trazabilidad de la incertidumbre que alberga en su seno cada una de las disciplinas que se enumeran, y se sistematiza una expresión explícita del error allá donde es posible, o se enuncian evidencias de éste a modo indicativo.

La conexión entre el conocimiento disponible y el proceso de diseño y toma de decisiones, así como la consideración crítica de ambos procesos en este estudio de caso constituye asimismo el objetivo del presente documento.

Metodología

Caracterización del clima marítimo y de la dinámica litoral asociada

Registro de oleaje visual de los barcos en ruta en el Mar de Alborán

En el proyecto de regeneración se incorporan los datos de oleaje proporcionados por el servicio de Clima Marítimo de Puertos del Estado, correspondientes al registro visual de los barcos en ruta entre los años 1950 y 1993, en una amplia zona que abarca a todo el Mar de Alborán (véase figura 2). Los datos discriminan estado de mar de viento y de mar de fondo, e incorporan información de la altura de ola, del periodo y de la dirección del oleaje. La agregación de las frecuencias totales obtenidas se detalla en la tabla 1.

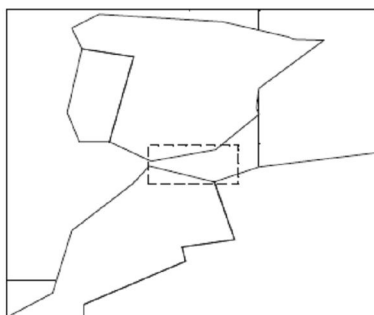


Figura 2: Zona de oleaje visual

sea+swell	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	Suma
0,125	236	123	221	269	696	136	101	72	105	108	161	224	496	118	85	63	3214
0,625	416	389	994	1738	4591	941	414	179	275	363	805	1930	4736	884	471	287	19413
1,50	82	47	163	481	2111	359	90	41	55	75	283	1164	2972	391	147	68	8529
2,5	15	9	20	131	655	75	18	8	6	9	55	278	683	71	39	7	2079
3,5	4	2	4	21	204	22	2	1	0	2	10	62	150	15	7	3	509
4,5	3	1	2	8	62	7	0	0	0	0	1	4	28	9	1	2	128
5,5	1	0	3	5	24	5	0	0	1	1	0	2	7	1	1	0	51
6,5	0	0	1	1	4	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	11
7,5	0	0	0	2	13	2	0	0	0	0	3	4	3	1	0	0	28
Suma	757	571	1408	2656	8360	1547	626	302	442	558	1318	3668	9077	1491	751	430	33962

Tabla 1. Frecuencias de oleaje visual. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En la determinación del régimen medio del oleaje proveniente de esta fuente de datos se establece la relación entre los periodos de pico del oleaje con las alturas de ola mediante un ajuste de mínimos cuadrados a una función exponencial (ver figura 3), obteniéndose un coeficiente de correlación $r=0,99498$.

$$T_p = -6,82974 \cdot e^{-0,31423 \cdot H_s + 10,99193}$$

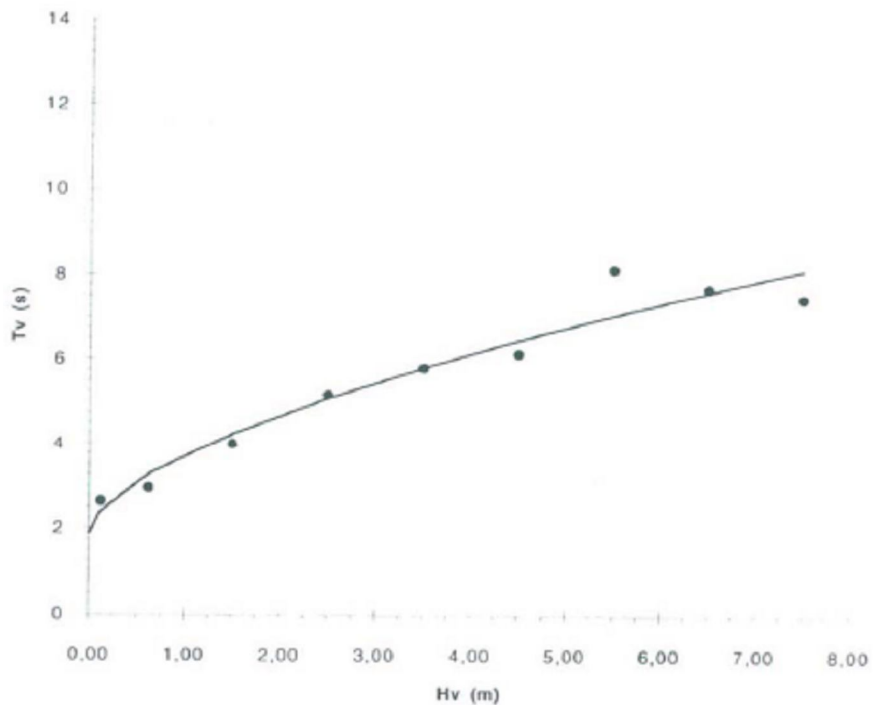


Figura 3. Ajuste altura periodo visual. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Los datos de dirección del oleaje están divididos en 16 sectores de $22,5^\circ$, de los cuales no todos inciden en la zona de estudio.

Cómputo de la predicción meteorológica del oleaje en el punto de la Red WANA

Una segunda fuente de datos para el oleaje considerada en el estudio del proyecto de regeneración de la playa es el proporcionado por Puertos del Estado procedentes de la predicción de oleaje. Está basado en la estimación del viento geostrofico y su procesamiento en un modelo numérico WAM en una malla para el Mediterráneo que puede llegar hasta $0,125^\circ \times 0,125^\circ$. El punto WANA 2013013 se encuentra situado en las coordenadas $36,625^\circ$ de latitud norte, y $4,375^\circ$ de longitud oeste (ver figura 4), en las proximidades de la zona de estudio. Las previsiones del punto WANA incluyen información sobre la altura de ola y de la dirección media del oleaje, así como del periodo de pico, pero ésta última información no ha sido considerada en el estudio del proyecto al considerarse menos fiable que la proporcionada por la tercera fuente de datos, la boya escalar de Málaga. La información direccional y la tabla de frecuencias de las direcciones consideradas para el estudio del proyecto se muestran en la figura y la tabla 2.

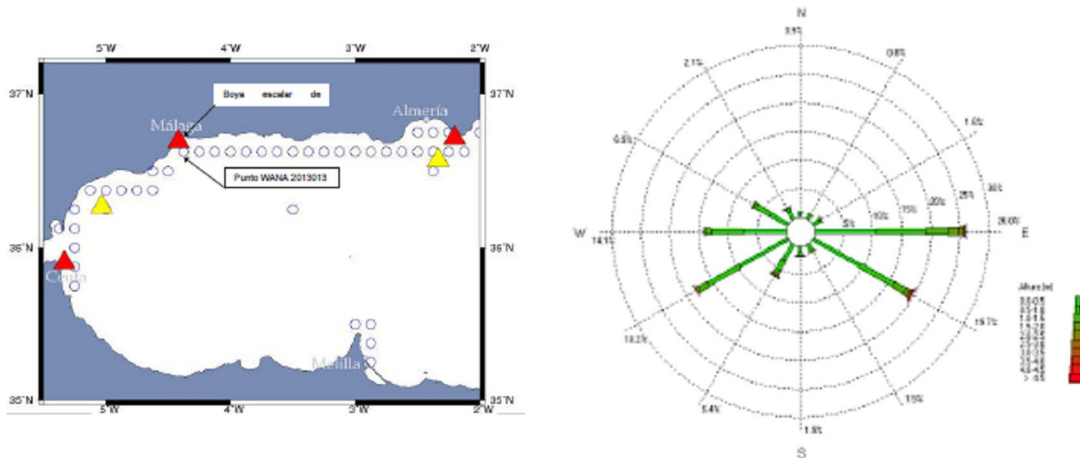


Figura 4. Localización y Rosa de oleaje del punto WANA
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Hs-Dir	N	N30E	N60E	E	E30S	E60S	S	S30W	S60W	W	W30N	W60N	subtotal
0.0-0.5	0.6972	0.6971	1.1787	10.3994	9.0777	1.0618	1.2779	3.2366	9.6640	7.2116	3.5102	1.5273	49.5395
0.5-1.0	0.1725	0.1249	0.3987	8.5716	6.9034	0.3985	0.3270	1.9087	6.1629	5.6806	2.6108	0.4461	33.7057
1.0-1.5	0.0000	0.0178	0.0237	3.8666	2.1289	0.0357	0.1010	0.6957	1.7783	0.9875	0.5946	0.1071	10.3368
1.5-2.0	0.0000	0.0000	0.0059	1.8558	0.7673	0.0119	0.1128	0.4161	0.5055	0.2023	0.1487	0.0237	4.0499
2.0-2.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.8569	0.3926	0.0060	0.0237	0.1013	0.0655	0.0000	0.0000	0.0119	1.4579
2.5-3.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.2856	0.2141	0.0000	0.0179	0.0299	0.0118	0.0000	0.0000	0.0000	0.5592
3.0-3.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.1190	0.1311	0.0000	0.0119	0.0059	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.2737
3.5-4.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0179	0.0356	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0535
4.0-4.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0120	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0179
4.5-5.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0059
subtotal	0.8697	0.8397	1.6069	25.9846	19.6625	1.5139	1.8722	6.3942	18.1939	14.0820	6.8643	2.1160	100.0000

Tabla 2. Frecuencias de oleaje WANA. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Los cuadrantes de direcciones de oleaje aportados por el estudio del proyecto son, en el caso de los datos WANA, de 30°, considerándose las direcciones E (90°), E30S (120°), E60S (150°), S (180°) y S30W (210°).

Boya escalar

En unas coordenadas cercanas al área de estudio, a 36°41'30" de latitud N y 4°24'54" de longitud W, se encuentra situada una boya escalar, en un punto cuya profundidad es de 22 m. Los registros de esta boya recogidos entre noviembre de 1985 y diciembre de 2000 han sido empleados en el estudio del proyecto para la determinación del régimen medio y del régimen extremal del oleaje. La probabilidad de no excedencia de estados de mar con determinadas alturas significantes de ola han sido tabulados en base a este registro y ajustados a una distribución Weibull biparamétrica, obteniéndose un coeficiente de correlación de $r=0,99687$. Los resultados del ajuste se muestran a continuación:

$$F(H_s) = 1 - e^{-\left(\frac{H_s}{0,39571}\right)^{0,93574}}$$

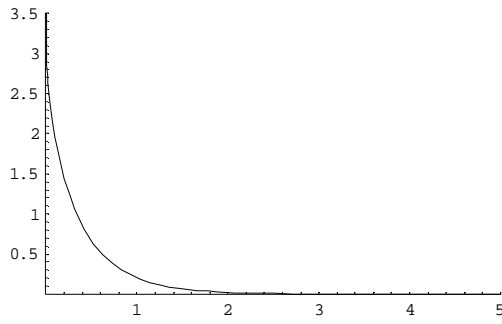


Figura 5. Función de distribución de probabilidad de H_s

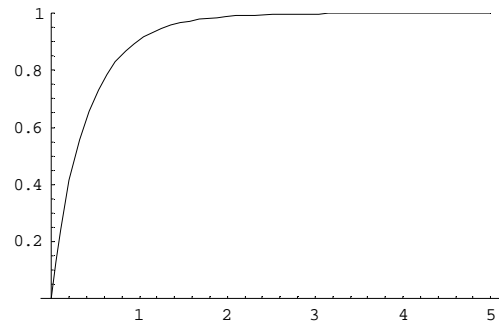


Figura 6. Función acumulada de la distribución de H_s

Los valores registrados para el periodo de pico T_p también han sido ajustados a una distribución Weibull biparamétrica obteniéndose un coeficiente de correlación de $r=0,99982$. Los resultados del ajuste se muestran a continuación:

$$F(T_p) = 1 - e^{-\left(\frac{T_p}{3,93041}\right)^{3,55065}}$$

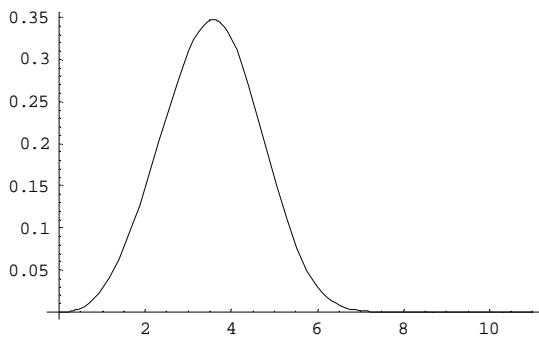


Figura 7. Función de distribución de probabilidad del periodo de pico T_p de la boya escalar

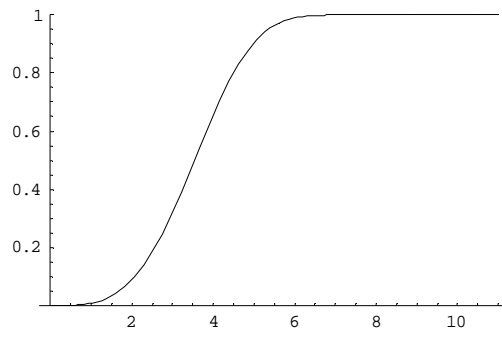


Figura 8. Función acumulada de la distribución del periodo de pico T_p de la boya escalar

Parámetros del oleaje

El régimen medio del clima marítimo en el proyecto de regeneración ha sido caracterizado en base a los parámetros de la altura significativa de ola H_s , del periodo de pico T_p , la dirección del oleaje α y la longitud de onda L de la ola.

En cuanto a los espectros direccionales del oleaje se disponen datos del registro de oleaje visual y de la modelización realizada en el punto WANA. En la determinación de la dirección promedio de aproximación del oleaje se da la dificultad de que los registros que aportan información (los datos de las observaciones visuales de los barcos en ruta u oleaje visual, y las predicciones del punto WANA), están computados en forma diferente, dividiéndose el primer registro el conjunto de direcciones en 18 sectores de $22,5^\circ$, mientras que el segundo utiliza 12 sectores de 30° . Para la comparación de ambas series de datos se han realizado las siguientes conversiones:

Sector (30°)		Sector (22,5°)	
S60W =	(11,25*SW+18,75*WSW)/22,5	SW =	11,25*(S30W+S60W)/30
S30W =	(18,75*SSW+11,25*SW)/22,5	SSW =	(3,75*S30°+18,75*S30W)/30
S _{30°} =	S _{22,5°} +3,75*(SSW+SSE)/22,5	S _{22,5°} =	22,5* S _{30°} /30
E60S =	(18,75*SSE+11,25*SE)/22,5	SSE =	(3,75* S _{30°} +18,75*E60S)/30
E30S =	(11,25*SE+18,75*ESE)/22,5	SE =	11,25*(E60S+E30S)/30
E _{30°} =	E _{22,5°} +3,75*(ESE+ENE)/22,5	ESE =	(18,75*E30S+3,75*E _{30°})/30

Tabla 3. Conversiones entre sectores de oleaje de los registros WANA y visual.

El tratamiento estadístico de los datos de oleaje proveniente de los diferentes registros incluye la determinación del periodo de pico T_p del registro completo sin discriminación direccional, mediante la realización de una regresión lineal entre las alturas significantes de ola registradas y los periodos de éstas. El periodo de pico (T_p) correspondiente al oleaje promedio ha sido calculado a partir de la altura significativa promedio incorporándola en la expresión obtenida para la relación H_s-T_p , en los registros de ola visual y de la boya escalar. La longitud de onda en aguas profundas (L_o) ha sido obtenida a partir del valor del periodo de pico (T_p), usando para el registro de oleaje visual la expresión que se detalla proveniente de la teoría lineal de ondas de Airy, válida para aquellas aguas cuya profundidad es mayor a la mitad de la longitud de onda. Para el registro de la boya escalar se ha empleado también la misma expresión, aunque para la ola promedio se encuentra en el límite de las aguas profundas con las aguas intermedias.

$$L_o = \frac{g \cdot T_p^2}{2\pi}$$

	H _s (m) valor medio	σ _{Hs} (m)	α (°) valor promedio de ESE a SW	σ _α (°)	T _p (s) correspondiente al oleaje de valor medio de altura significante	T _p (s) Rango de variabilidad	L (m) correspondiente al oleaje de valor medio de altura significante	L (m) Rango de variabilidad
oleaje visual	0,83 m	0,71 m	165,9	51,2	3,5	2,4 ↔ 4,3	19	9 ↔ 28
previsiones WANA	0,72 m	0,61 m	161,4	133,8	-	-	-	-
boya escalar	0,41 m	0,44 m	-	-	5,0	4,1 ↔ 5,7	39	26 ↔ 51

Tabla 4. Parámetros del oleaje obtenidos en el estudio del proyecto, altura significativa y dirección promediadas del oleaje y valores del periodo de pico y de la longitud de onda derivadas de aquella, así como sus rangos de variabilidad considerados para una horquilla de más/menos la desviación típica.

Teorías de ondas y rangos de validez

La teoría lineal de ondas de Airy posee un rango de aplicación condicionado por las asunciones tomadas en su formulación, que vienen a ser las siguientes: la forma de las olas es sinusoidal, las amplitudes de las olas son muy pequeñas comparadas con sus longitudes de onda y con la profundidad, la viscosidad y la tensión superficial pueden ser ignoradas, la fuerza de Coriolis y la vorticidad resultante de la rotación de la tierra pueden ser ignoradas, la profundidad es uniforme y el fondo no presenta protuberancias, las olas no se ven confinadas ni reflejadas por masas de tierra ni por ningún otro obstáculo, y las olas tridimensionales de la realidad se comportan de forma análoga al modelo bidimensional (Brown, 1999). A medida que la ola se aproxima a la costa la asunción de que la amplitud

de la onda es pequeña comparada con la profundidad y con la longitud de onda se hace más difícil de mantener. Otras formulaciones más complejas pueden ser empleadas entonces como las teorías de Stokes o la teoría Cnoidal. Los rangos de aplicación de estas teorías son recogidos por diferentes autores como se muestra en las figuras que se acompañan.

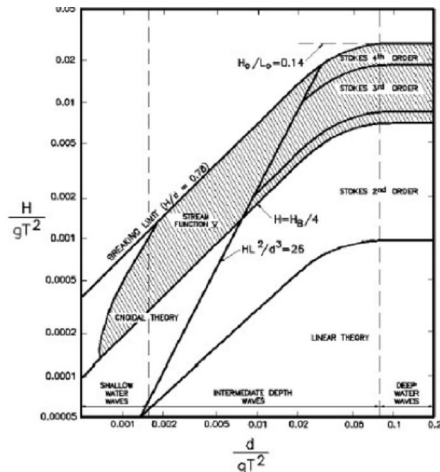


Figura 9. Rangos de validez de las teorías de ondas. Fuente: Sleath (1984)

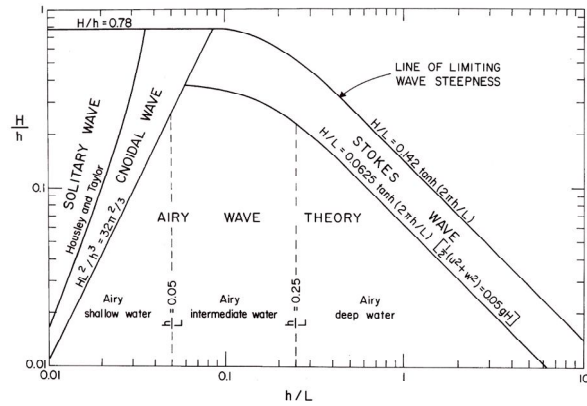


Figura 10. Rangos de validez de las teorías de ondas. Fuente: Komar (1998)

Aguas profundas, intermedias y someras

La profundidad a la que el oleaje comienza a interactuar con el fondo es de 0,84 veces la longitud de onda de la ola en aguas profundas (Carter, 1988), si bien convencionalmente se establece el límite entre las aguas profundas y las aguas transicionales o intermedias en la profundidad igual a la mitad de la longitud de onda. Cuando el oleaje alcanza una profundidad menor a 20 veces su longitud de onda se considera que entra en la zona de aguas someras, donde las expresiones matemáticas que permiten estimar algunos de sus parámetros se vuelven más sencillas, igualándose por ejemplo la velocidad de grupo a la velocidad de fase.

Asomeramiento y propagación del oleaje

El estudio del proyecto realiza una propagación del oleaje empleando los datos recabados sobre el clima marítimo y enfrentándolos a las batimetrías de la zona extraídas de las cartas náuticas n° 455, n° 456 y n° 4551, mediante el uso de un modelo numérico con un software especializado. Se pretende así caracterizar el proceso de asomeramiento del oleaje por el cual al interactuar con el fondo las olas van perdiendo energía y disminuyendo en altura, a la vez que se modifican sus características mediante la disminución de su longitud de onda y de su velocidad, y la rectificación de su dirección de aproximación que se va haciendo más perpendicular a las isóbatas por el efecto de la refracción del fondo. Los resultados finales manejados por el estudio del proyecto son un coeficiente de propagación que incorpora la disminución en altura de la ola, y la cuantificación del giro del oleaje, para cada una de las direcciones incidentes y en una variedad de periodos y alturas de ola en concordancia con los datos aportados por el estudio del clima marítimo.

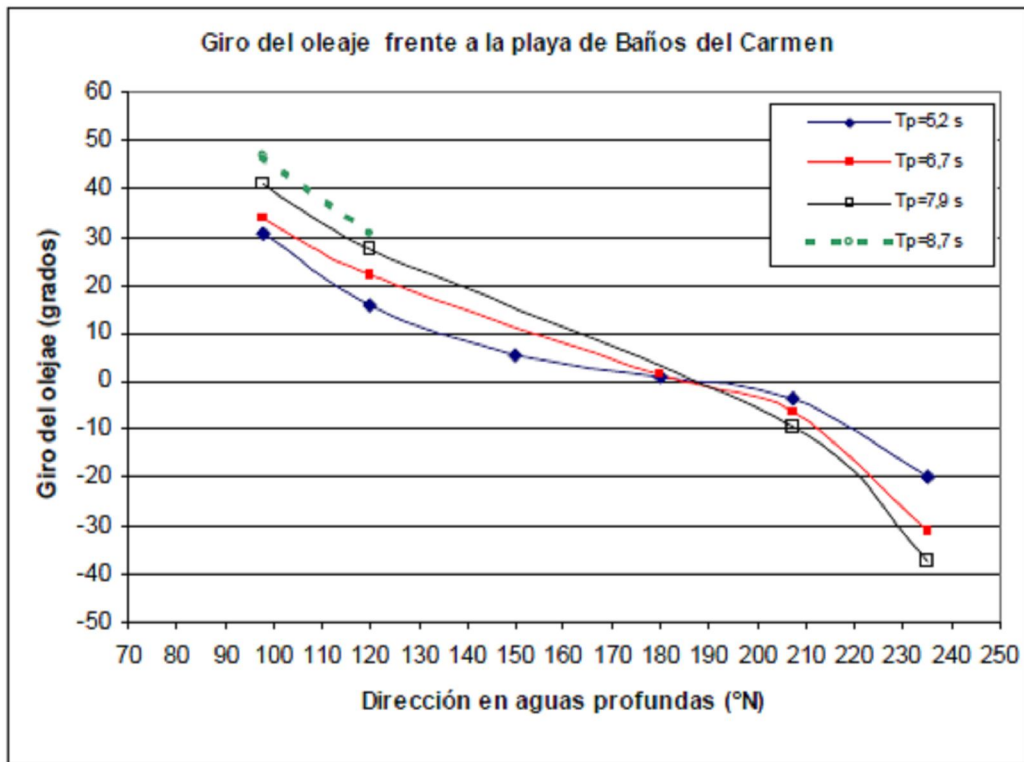


Figura 11. Giro del oleaje. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

$$\text{Coeficiente de propagación } K_r = \frac{H_{sb}}{H_{so}}$$

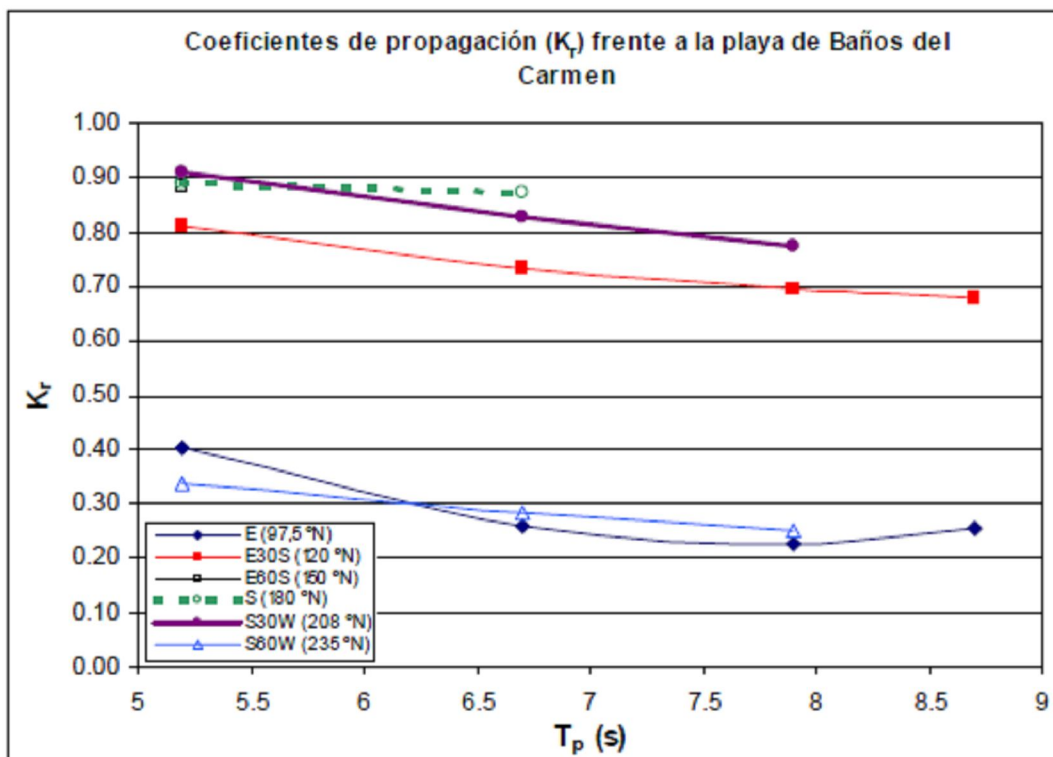


Figura 12. Coeficiente de propagación. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Las batimetrías regional y local empleadas por el estudio del proyecto se muestran en las siguientes figuras:

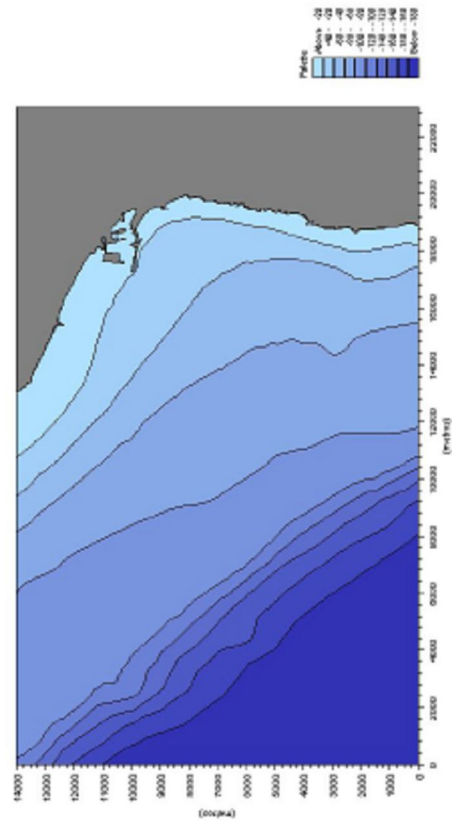


Figura 13. Batimetría regional. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

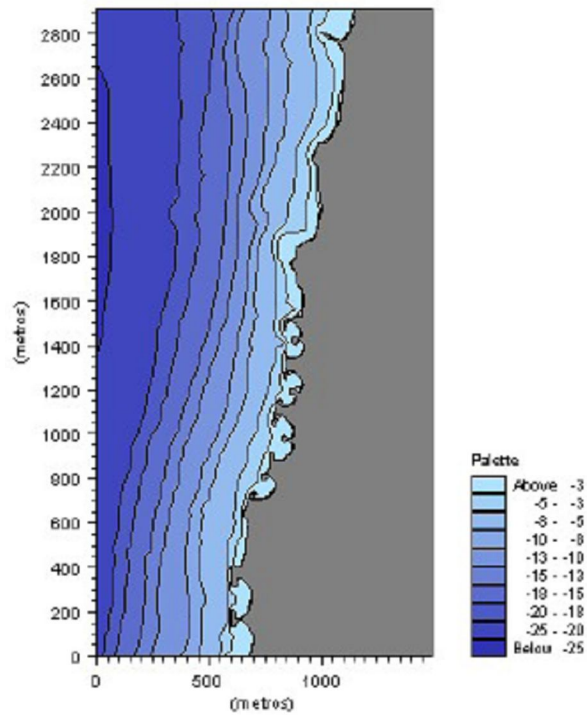


Figura 14. Batimetría local. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Procedencia	T_p (s)	H_{so} (m)	Dirección en la zona de Estudio (°N)	H_{sw} (m)	K_r
E (97,5 °N)	5.2	0.5	128.61	0.20	0.40
	6.7	1.5	132.05	0.39	0.26
	7.9	2.5	138.86	0.56	0.23
	8.7	3.5	144.86	0.89	0.25
E30S (120 °N)	5.2	0.5	135.76	0.41	0.81
	6.7	1.5	142.07	1.10	0.73
	7.9	2.5	147.62	1.73	0.69
	8.7	3.5	150.72	2.37	0.68
E60S (150 °N)	5.2	0.5	155.52	0.44	0.88
S (180 °N)	5.2	0.5	180.95	0.45	0.89
	6.7	1.5	181.62	1.31	0.87
S30W (210 °N)	5.2	0.5	204.13	0.45	0.91
	6.7	1.5	201.16	1.24	0.83
	7.9	2.5	198.16	1.94	0.77
S60W (235 °N)	5.2	0.5	215.32	0.17	0.34
	6.7	1.5	203.99	0.42	0.28
	7.9	2.5	197.64	0.63	0.25

Tabla 5. Resultados del estudio de la propagación proyecto.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Rotura de ola

A medida que el oleaje se aproxima a la costa, la elevación relativa de su peralte, esto es, de la relación entre su altura de ola y su longitud de onda, hace que llegue un momento en el que se torna inestable. Cuando las partículas que se mueven en el interior de la ola alcanzan una velocidad mayor que la de avance del oleaje, se produce la rotura. Es en este momento en el que la transición a un régimen de turbulencia hace que la interacción con las partículas sedimento del fondo se intensifique, removilizándose el sedimento poniéndolo a disposición de los fenómenos de transporte. La disipación de energía de la ola experimenta una brusca transformación en la rotura, siendo capaz en el recorrido restante hasta la costa (el conocido por el término inglés "run-up", el "rebalaje") de terminar de difuminar el último remanente de energía traído por la ola desde su generación en el océano abierto. La profundidad a la que se produce la rotura, así como los parámetros de la ola en ese momento (su altura y dirección) son elementos de entrada al modelo de transporte sedimentario empleado por el estudio del proyecto.



Figura 15. Rotura en voluta en la playa de poniente. Fotografía por cortesía de Thalassamo

Existen distintas propuestas para la determinación de las características de la ola cuando se produce la rotura y para la determinación de su profundidad (Komar, 1998). Algunas de éstas se expresan a continuación:

$$d_b = \frac{H_{sb}}{1,20} \left(\sqrt{\frac{H_{so}}{L_o}} \cdot \frac{1}{\text{tg}\beta} \right)^{0,27}$$

Profundidad de rotura de ola d_b según Kaminsky y Kraus (1993)

$$H_{sb} = \frac{H_{so}}{3,3 \left(\frac{H_{so}}{L_o} \right)^{1/3}}$$

Altura de ola H_{sb} en rotura según Munk (1949)

$$H_{sb} = \frac{0,563 \cdot H_{so}}{\left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{1/5}}$$

Altura de ola H_{sb} en rotura según Komar y Gaughan (1972)

$$H_{sb} = \frac{0,46 \cdot H_{so}}{\left(\frac{H_{so}}{L_o} \right)^{0,28}}$$

Altura de ola H_{sb} en rotura según Kaminsky y Kraus (1993)

Oleaje extremal

A partir de los datos de la boya escalar, comprendidos entre noviembre de 1985 y diciembre de 2000, el estudio del proyecto también realiza el establecimiento del régimen extremal del oleaje. Para ello emplea el método de excedencias sobre un umbral (denominado POT en inglés, de "Peak Over Threshold"), consistente en la extracción de los valores más altos de la serie, los que rebasan de forma aislada un determinado valor de umbral fijado al efecto, con los que se diseña una distribución construida a partir de las de Weibull y de Poisson que nos proporciona la probabilidad de que se de un temporal de una determinada intensidad, entre los temporales que es probable que se den en un año determinado.

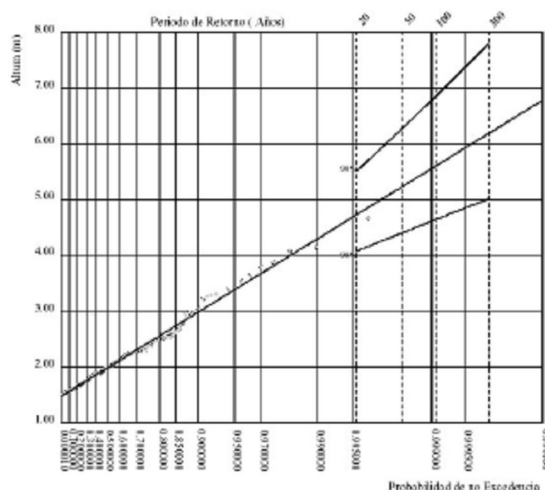


Figura 16. Régimen extremal. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Fricción por fondo

A su paso sobre el lecho marino, a las profundidades donde la ola comienza a interactuar con él, comienza a producirse la disipación de la energía de la ola por la fricción con sus partículas de sedimento, que pueden ser o no movilizadas. La caracterización física de este fenómeno pasa por la denominada "tensión de corte", para la que usualmente se emplea la letra τ (tau), que consiste en la fuerza aplicada por unidad de área. Si denominamos U a la amplitud de la velocidad orbital cerca del fondo y τ_m a la amplitud de la tensión de corte en el lecho marino, el coeficiente f_w de fricción por fondo viene dado por la siguiente expresión:

$$f_w = \frac{2 \cdot \tau_m}{\rho \cdot U^2}$$

El coeficiente de fricción presenta típicamente valores de 0,02-0,03 en los casos de olas que se propagan sobre fondos arenosos, aunque puede variar incrementándose hasta en dos órdenes de magnitud en función de la rugosidad del fondo.

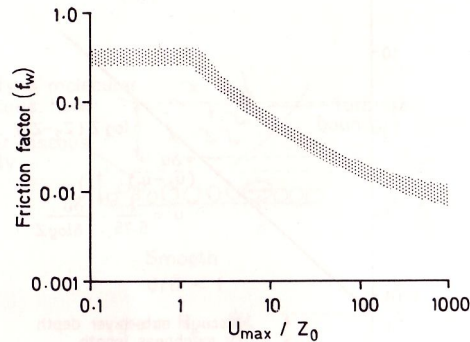


Figura 17. Coeficiente de fricción por fondo. Fuente: Carter (1988)

Transporte sedimentario longitudinal

La caracterización del clima marítimo hace posible la elaboración de cálculos estimativos del transporte sedimentario longitudinal en base a la modelización del flujo de energía incidente considerando el transporte longitudinal Q como proporcional a éste (Komar, 1998), empleando los parámetros de la altura de ola, del periodo y de la dirección principal del oleaje en rotura.

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot a'} \cdot E_b \cdot C_{gb} \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b$$

El valor de la constante de proporcionalidad K empleado en el estudio del proyecto es el propuesto por Del Valle et al. (1993), creciente con el tamaño de grano, considerando un grano de grosor medio $D_{50} = 0.937$ mm.

$$K = 1,4 \cdot e^{-(2,5 \cdot D_{50})} = 0,134$$

Para estimar la profundidad a la que se produce la rotura de ola se comparan los resultados de distintas formulaciones empíricas. El empleo de modelos numéricos de propagación del oleaje permite la estimación de los parámetros del oleaje en la profundidad a la que se

produce la rotura. Utilizando los valores de los parámetros del oleaje en rotura, en el estudio del proyecto se estiman los transportes asociados a las diferentes condiciones de dirección, altura y periodo proporcionadas por el estudio del clima marítimo, agregándolas en base a sus frecuencias de aparición. Se evalúan a lo largo de 13 puntos en la zona de estudio, que se representan en la siguiente figura.

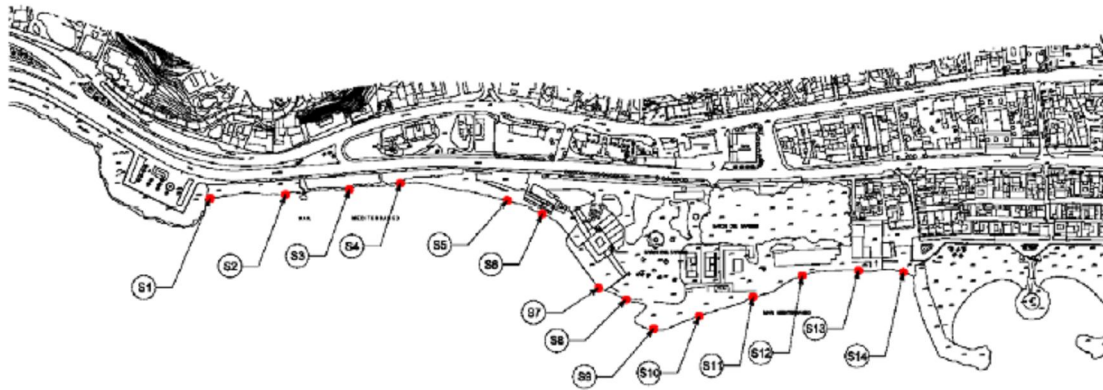


Figura 18. Puntos de cálculo del transporte sedimentario longitudinal en base a los parámetros del oleaje en rotura. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En las figuras siguientes se muestran los resultados para los datos del registro de oleaje visual y para los datos WANA.

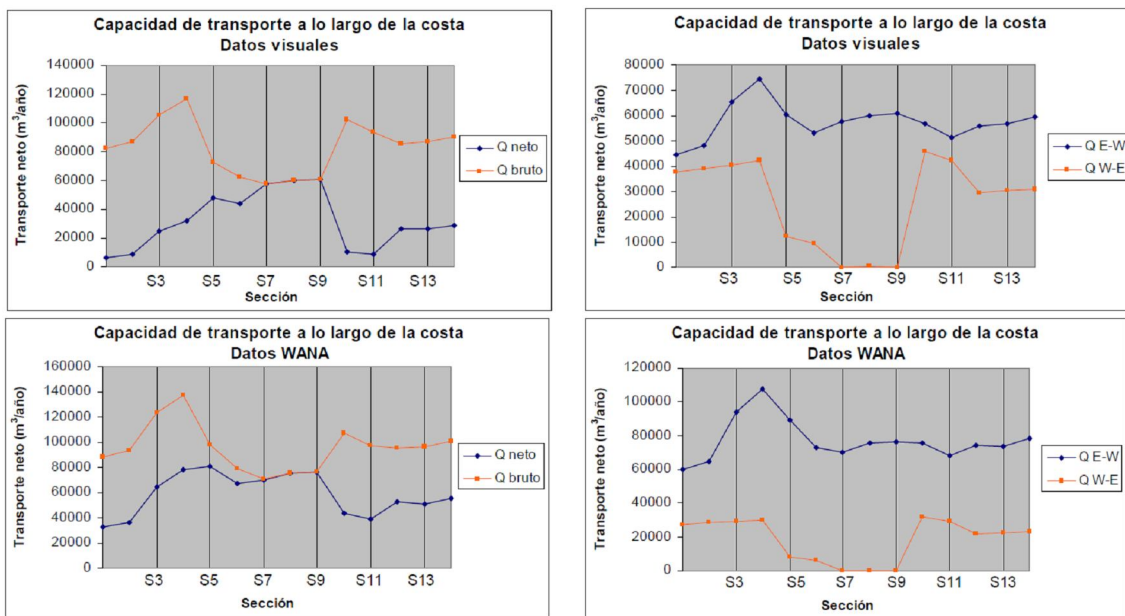


Figura 19. Transportes sedimentarios según la modelización de Komar e Inman (1970). Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

De la aplicación realizada se determina que la zona de estudio presenta un transporte longitudinal de sedimentos en sentido de este a oeste de entre $10.000 m^3/año$ y $60.000 m^3/año$ en cuanto a su valor neto, con una capacidad de transporte bruta de $120.000 m^3/año$.

Como método complementario en el estudio del proyecto se realiza la comparación de la posición de la línea de costa en cinco fotos aéreas realizadas en diferentes momentos de los años 1947, 1957, 1977, 1981, 1995 y 1998. Para ello se usa una trama longitudinal de puntos de la costa, en los que se obtiene la variación de la posición, que es transformada de una variación en distancia a una variación en volumen mediante la asunción de una profundidad activa de 6 m y una altura de playa seca de 1,5 m.

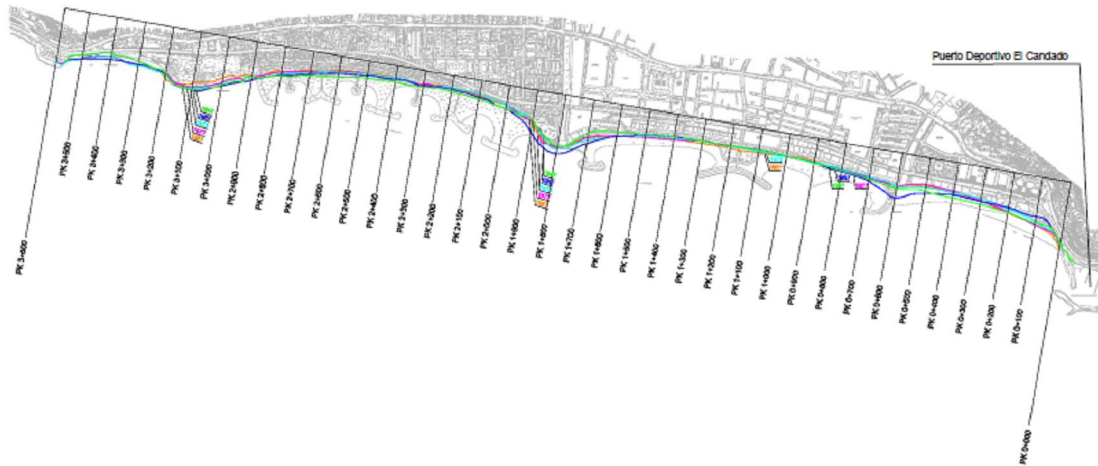


Figura 20. Trama del análisis fotogramétrico.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

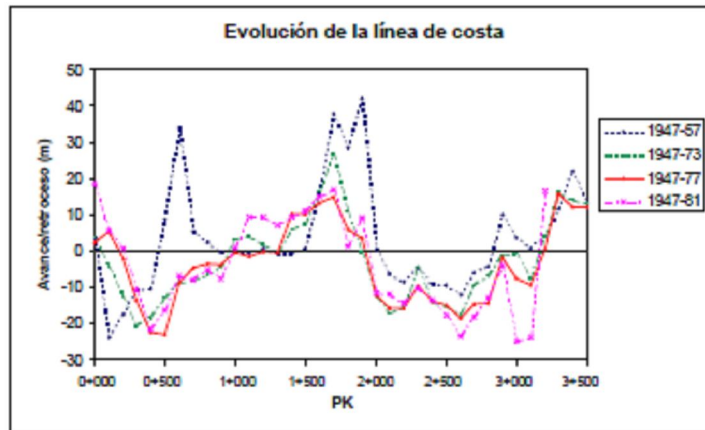


Figura 21. Evolución de la línea de costa. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

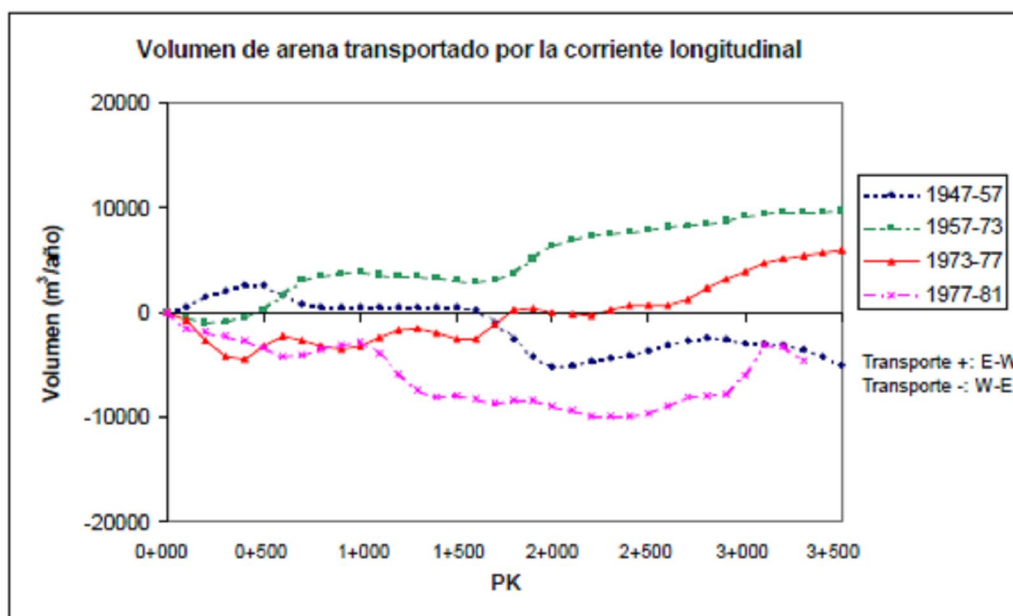


Figura 22. Volúmenes transportados resultantes del análisis fotogramétrico.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En base a los resultados para el periodo 1957-1973 el estudio concluye que se puede obtener un transporte medio de 40.000 m³/año, con lo que lo considera concordante con el análisis proveniente de los parámetros del oleaje. Para ello se le añade discrecionalmente la aportación de los ríos debida a episodios de lluvias ocurridos durante el año 1957.

Celdas litorales

La conformación orográfica de la costa hace que se produzcan fuentes donde se aporta sedimento al sistema costero tales como los arroyos y ríos o los acantilados sujetos a erosión, y sumideros por donde el sedimento puede escapar del sistema considerado. El establecimiento de límites para la definición de "celdas litorales" es empleado para la clarificación del funcionamiento sedimentario en tramos de costa.

Aportes fluviales

Desde el Este hacia el Oeste los ríos y arroyos que forman parte de la unidad litoral encerrada por la línea de base recta que va desde Punta de Calaburra (Fuengirola) a Punta de Vélez (Vélez-Málaga) son el Río Fuengirola, el Guadalhorce (el principal río de la provincia), el río Guadalmedina, y los arroyos Toquero, Jaboneros, Gálica, Totalán, Granadilla, Benagalbón, Santillán, Adelfas y Arquillos, pertenecientes a un amplio rango de escalas, y dejando aparte arroyos menores aún que estos últimos, de los cuales uno aparece embovedado desembocando en la playa de poniente de los Baños del Carmen (el antiguo Arroyo del Leñar).

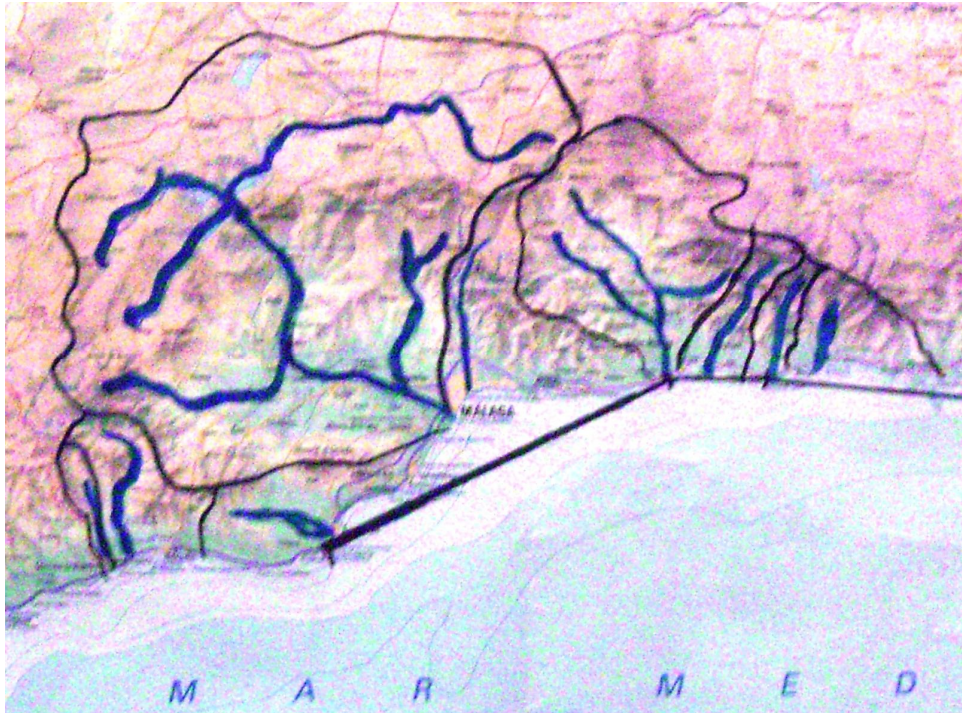


Figura 23. Bahía de Málaga: Cuencas hidrográficas, principales ríos y líneas de base rectas



Figura 24.: Curso embovedado del Arroyo del Leñar hasta su desembocadura en la playa de poniente de los Baños del Carmen. Fotografías excepto la desembocadura por cortesía de Odolín. Fotografía de la desembocadura, Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En el estudio de la dinámica litoral del proyecto se estima en 124.800 m^3 el aporte debido a las fuertes lluvias que se dieron durante el periodo entre 1957-73, a la vez que se relaciona la alteración de este aporte como la causa de la erosión en la zona, a raíz de la urbanización, el encauzamiento y el embovedado de los arroyos de la zona.

Balance sedimentario

La contabilización de los aportes y las pérdidas de sedimentos a través de unas fronteras establecidas puede servir como ejercicio de síntesis sobre el conocimiento de la dinámica sedimentaria de una zona, pudiendo contrastarse con la tendencia real observada el balance obtenido.

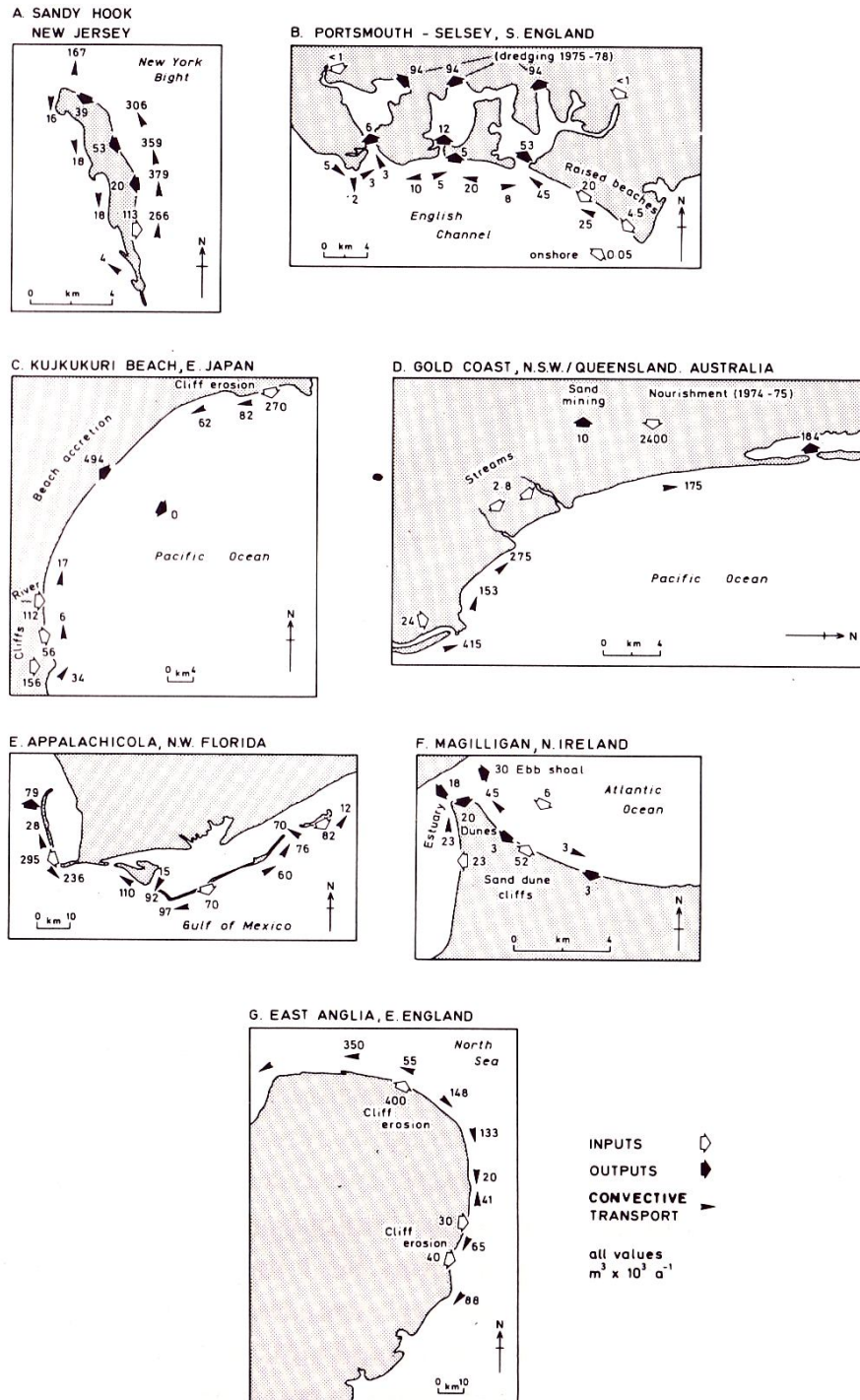


Figura 25: Ejemplos de balances sedimentarios obtenidos de la literatura. Nótese la escala más amplia de los estudios. Fuente: Carter (1988)

Mineralogía y grano

La realización de 8 perfiles a lo largo de los cuales se toman cuatro muestras de sedimentos en cada uno, a las profundidades de 1 m , 5 m y 10 m, además de en las cotas de 0 m y de 2 m en la playa seca, sirven al estudio del proyecto de regeneración para realizar la caracterización granulométrica y mineralógica. A través del tamizado y análisis granulométrico de las muestras se obtienen parámetros como el D_{50} , que indica el tamaño de grano promedio. En las figuras siguientes se reflejan los lugares de muestreo y los resultados obtenidos para el valor de D_{50} .

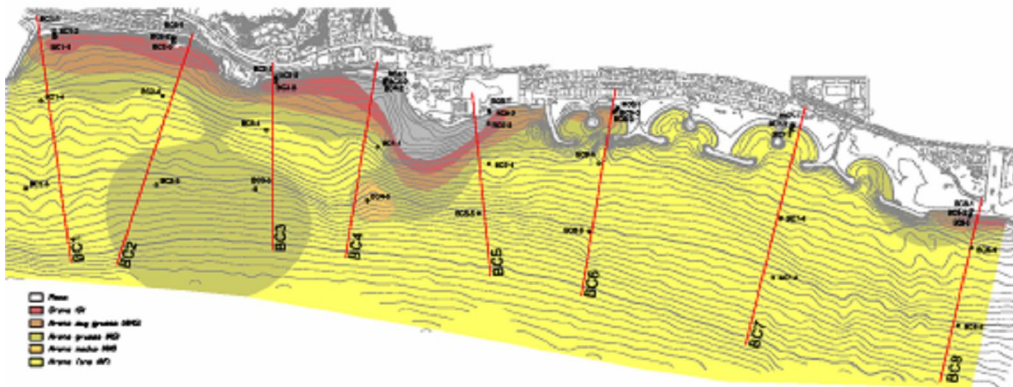


Figura 26. Puntos de muestreo para la granulometría.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

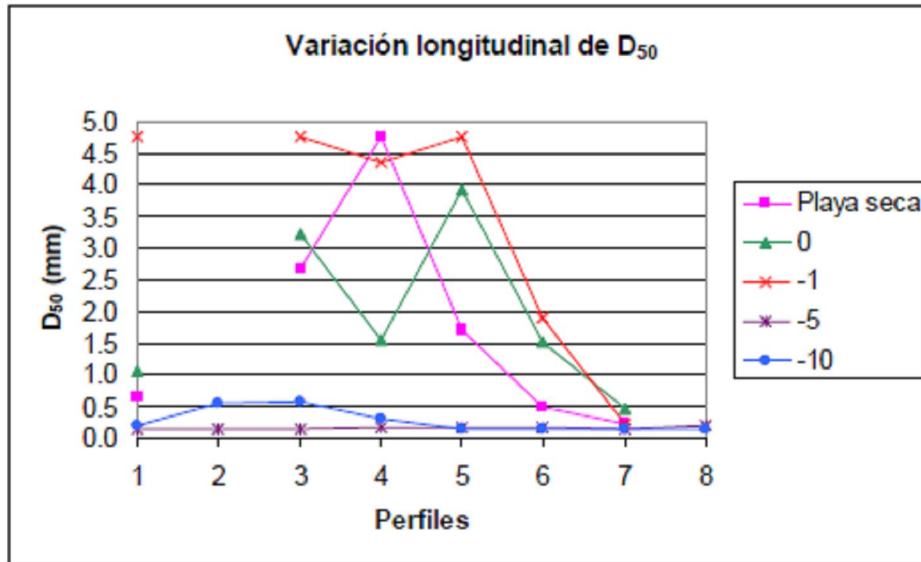


Figura 27. Variación longitudinal de D_{50} . Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

La composición determinada para los sedimentos es de carácter mayoritariamente terrígeno, formados por cuarzo y fragmentos de rocas metamórficas, esquistos y pizarras, además de una pequeña fracción de bioclastos.

Caracterización de las comunidades biológicas

El estudio del proyecto de regeneración incluyó una caracterización biológica del medio, para lo que se realizó una toma de muestras en tres localizaciones de la que se obtuvo información sobre el plancton y el bentos, además de registrarse los parámetros físico-químicos del agua de mar. En el listado de las especies planctónicas se cuantifica la concentración encontrada en células/ml, haciendo posible el cómputo de un índice de biodiversidad para el plancton. La comunidad bentónica es estudiada mediante la toma de muestras en las tres localizaciones, con tres réplicas para cada localización. A partir de las muestras del bentos se construye igualmente un listado de especies con abundancia en los casos en los que esto es posible. Complementa el estudio del fondo la realización de trece transectos con grabación en video, en los que posteriormente se analiza la proporción entre las diferentes biocenosis encontradas.

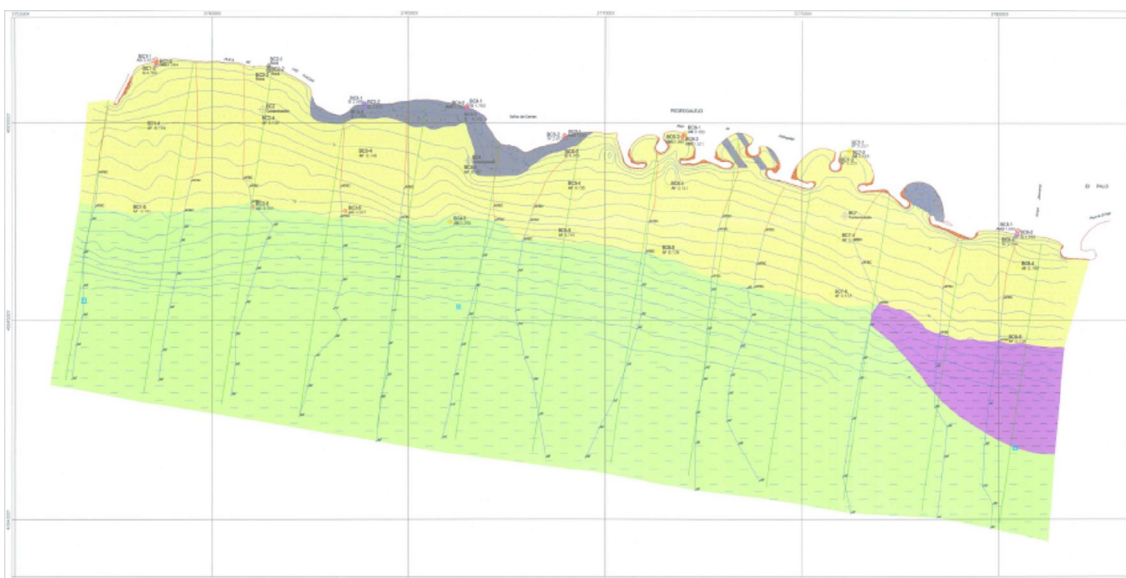


Figura 28. Biocenosis y localización de los transectos y zonas de muestreo biológico.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

El esfuerzo de muestreo ha sido revisado, mediante la representación de la curva acumulada de aparición de nuevas especies a medida que se aumenta el número de muestras, para comprobar hasta que punto la caracterización realizada por el estudio del proyecto ha conseguido aprehender la complejidad de la zona. La forma de la curva acumulada de aparición de especies nuevas es considerada como creciente de forma desacelerada hasta alcanzar un valor máximo, de manera que si la variación de especies con el incremento del número de muestras es muy pronunciada podemos considerar que nos encontramos en una zona de la curva muy alejada aún de la asíntota. La consistencia de los resultados obtenidos de las distintas muestras han sido también estudiada mediante el cálculo de la similaridad de Bray Curtis, consistente en la relación entre las especies compartidas entre cada dos muestras referida a la suma total de las especies contenidas en esas dos muestras.

Las diferentes comunidades biológicas (biocenosis) marinas son descritas en el estudio del proyecto acordes con la sistematización propuesta por Boudouresque (1984), proveyéndose en la descripción de cada una de las comunidades tipo una serie de especies que han sido incorporadas en el listado adicional.

<i>Acrosonium uncinatum</i>	alga	<i>Verrucaria symbalana</i>	liquen	<i>Anemonia sulcata</i>	anthozoo	<i>Blenium cristatus</i>	pez
<i>Aspargopsis armata</i>	alga			<i>Actinia equina</i>	cnidario	<i>Blenium sphyrx</i>	pez
<i>Bangia atropurpurea</i>	alga			<i>Aglaophenia pluma</i>	hidrozo	<i>Blenium trigloides</i>	pez
<i>Botryocladia botryodes</i>	alga			<i>Aglaophenia sertularioides</i>	hidrozo	<i>Pomatocistus spp</i>	pez
<i>Bryopsis plumosa</i>	alga			<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	braquiuro	<i>Solea vulgaris</i>	pez
<i>Callithamnion granulatum</i>	alga			<i>Acanthonyx lunulatus</i>	cangrejo	<i>Trachynus draco</i>	pez
<i>Ceramium ciliatum</i>	alga			<i>Balanus perforatus</i>	cirripedo		
<i>Ceramium nodulosum</i>	alga			<i>Chthamalus montagui</i>	cirripedo		
<i>Chaetomorpha aerea</i>	alga			<i>Chthamalus stellatus</i>	cirripedo		
<i>Chaetomorpha spp</i>	alga			<i>Euraphia depressa</i>	cirripedo		
<i>Chondria tenuissima</i>	alga			<i>Amplisca typica</i>	crustáceo		
<i>Cladophora spp</i>	alga			<i>Apseudes laterilli</i>	crustáceo		
<i>Cladostephus spongiosus</i>	alga			<i>Clibanarius erythropus</i>	crustáceo		
<i>Colpomenia sinuosa</i>	alga			<i>Eriphia verrucosa</i>	crustáceo		
<i>Corallina elongata</i>	alga			<i>Liocarcinus spp</i>	crustáceo		
<i>Cystoseira compressa</i>	alga			<i>Palaemon elegans</i>	crustáceo		
<i>Cystoseira tamariscifolia</i>	alga			<i>Diogenes pugilator</i>	decápodo		
<i>Cystoseira usneoides</i>	alga			<i>Ethusa mascarone</i>	decápodo		
<i>Dictyota fasciola</i>	alga			<i>Liocarcinus vernalis</i>	decápodo		
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	alga			<i>Portunus latipes</i>	decápodo		
<i>Enteromorpha compressa</i>	alga			<i>Syccionia carinata</i>	decápodo		
<i>Enteromorpha linza</i>	alga			<i>Talitrus saltator</i>	anfípodo		
<i>Feldmannia irregularis</i>	alga			<i>Callista chione</i>	bivalvo		
<i>Gastroclonium clavatum</i>	alga			<i>Cerastoderma edule</i>	bivalvo		
<i>Gelidium crinale</i>	alga			<i>Chamaelea gallina</i>	bivalvo		
<i>Gelidium latifolium</i>	alga			<i>Macra corallina</i>	bivalvo		
<i>Gigartina pistillata</i>	alga			<i>Macra spp</i>	bivalvo		
<i>Gonolithon papillosum</i>	alga			<i>Mytilus galloprovincialis</i>	bivalvo		
<i>Grateloupia doridaophora</i>	alga			<i>Mytilus sp</i>	bivalvo		
<i>Herposiphonia secunda</i>	alga			<i>Spisula subtruncata</i>	bivalvo		
<i>Hildenbrandia rubra</i>	alga			<i>Clathrina coriacea</i>	esponja		
<i>Hypnea musciformis</i>	alga			<i>Calyptrea chinensis</i>	gasterópodo		
<i>Jania rubens</i>	alga			<i>Littorina punctata</i>	gasterópodo		
<i>Laurencia spp</i>	alga			<i>Littorina spp</i>	gasterópodo		
<i>Lithophyllum incrunstans</i>	alga			<i>Middendorphia caprearum</i>	gasterópodo		
<i>Neogoniolithon notarisii</i>	alga			<i>Monodonta turbinata</i>	gasterópodo		
<i>Padina pavonica</i>	alga			<i>Patella aspera</i>	gasterópodo		
<i>Petalonia fascia</i>	alga			<i>Patella sp</i>	gasterópodo		
<i>Plocamium cartilagineum</i>	alga			<i>Sphaeronassa mutabilis</i>	gasterópodo		
<i>Polysiphonia sertularioides</i>	alga			<i>Amphiura chiajei</i>	ofiura		
<i>Porphyra spp</i>	alga			<i>Aphrodite aculeata</i>	poliqueto		
<i>Rhodymenia ardissoni</i>	alga			<i>Chaetozone setosa</i>	poliqueto		
<i>Sargassum vulgare</i>	alga			<i>Chone spp</i>	poliqueto		
<i>Schottera nicaeensis</i>	alga			<i>Cossura soyeri</i>	poliqueto		
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	alga			<i>Glycera alba</i>	poliqueto		
<i>Spyridia filamentosa</i>	alga			<i>Glycera rouxii</i>	poliqueto		
<i>Ulva rigida</i>	alga			<i>Heteromastus filiformis</i>	poliqueto		
<i>Valonia utricularis</i>	alga			<i>Lumbrineris letrilli</i>	poliqueto		
<i>Cladophora albida</i>	cloroficea			<i>Magelona minuta</i>	poliqueto		
<i>Enteromorpha spp</i>	cloroficea			<i>Monticellina dorsobranchialis</i>	poliqueto		
<i>Ralfsia verrucosa</i>	feoficea			<i>Nephtys hombergi</i>	poliqueto		
				<i>Pomatoceros triquetter</i>	poliqueto		
				<i>Prionospio fallax</i>	poliqueto		
				<i>Prionospio multibranchiata</i>	poliqueto		
				<i>Sternapsis sculata</i>	poliqueto		

Tabla 7.
Listado de especies derivado de la descripción de las diferentes biocenosis. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Piso supralitoral	Biocenosis de la roca supralitoral
Piso litoral	Horizonte superior del piso litoral
	Horizonte inferior del piso litoral
	Biocenosis del "desierto" mediolitoral
Piso infralitoral	Biocenosis fotófila de la roca infralitoral superior en modo batido
	Biocenosis esciáfila de la roca infralitoral en modo batido
	Poblamientos nitrófilos sobre sustrato duro
	Biocenosis de guijarros infralitorales
	Biocenosis de arenas finas bien calibradas
Piso circalitoral	Biocenosis de arenas fangosas
	Biocenosis de fondos detríticos costeros

Tabla 8. Tipología de comunidades biológicas marinas consideradas en el estudio del proyecto. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Por otra parte, los recursos pesqueros en la zona de actuación representan información adicional de carácter biológico. Una serie de especies comerciales es explotada en la zona, por lo que se incluye su presencia en la siguiente tabla.

<i>Acanthocardia tuberculata</i>	<i>Donax trunculus</i>	<i>Maja squinado</i>	<i>Penaeus japonicus</i>	<i>Serranellus cabrilla</i>
<i>Alopias vulpes</i>	<i>Engraulis encrasicolus</i>	<i>Merluccius merluccius</i>	<i>Penaeus kerathurus</i>	<i>Serranellus hepatus</i>
<i>Amoglossus laterna</i>	<i>Ensis spp</i>	<i>Mesopodopsis salaberi</i>	<i>Perepenaeus longirostris</i>	<i>Serranellus scriba</i>
<i>Aristeus antennatus</i>	<i>Epinephelus guaza</i>	<i>Micromesistius poutassou</i>	<i>Phycis blennioides</i>	<i>Solea solea</i>
<i>Auxis thazard</i>	<i>Galeorhinus galeus</i>	<i>Mugil spp</i>	<i>Phyllonotus trunculus</i>	<i>Solenocera membranacea</i>
<i>Belone belone</i>	<i>Gobius spp</i>	<i>Mullus barbatus</i>	<i>Plesionika edwardsii</i>	<i>Squilla mantis</i>
<i>Blennius spp</i>	<i>Gymnosarda alletterata</i>	<i>Mullus spp</i>	<i>Prionace glauca</i>	<i>Thunnus thynnus</i>
<i>Bolinus brandanis</i>	<i>Homarus gammarus</i>	<i>Mullus surmuletus</i>	<i>Raja clavata</i>	<i>Torpedo marmorata</i>
<i>Boops boops</i>	<i>Illex condetii</i>	<i>Nephrops norvegicus</i>	<i>Sardina pilchardus</i>	<i>Torpedo torpedo</i>
<i>Boops salpa</i>	<i>Lamna comubica</i>	<i>Octopus sp</i>	<i>Schistomistis ornata</i>	<i>Trachurus spp</i>
<i>Callista chione</i>	<i>Lepidorhombus boscii</i>	<i>Octopus vulgaris</i>	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>
<i>Chamaelea gallina</i>	<i>Liocarcinus depurator</i>	<i>P. centrodonatus</i>	<i>Scomber spp</i>	<i>Trigla lineata</i>
<i>Conger conger</i>	<i>Liocarcinus maena</i>	<i>Pagellus acarne</i>	<i>Scomberesox saurus</i>	<i>Trigla lucerna</i>
<i>Crassostrea angulata</i>	<i>Liocarcinus puber</i>	<i>Pagellus erythrinus</i>	<i>Scylliorhinus canicula</i>	<i>Venerupis romboides</i>
<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Lithognathus mormyrus</i>	<i>Pagrus pagrus</i>	<i>Sepia elegans</i>	<i>Venerupis sp</i>
<i>Diplodus sargus</i>	<i>Loligo vulgaris</i>	<i>Palaemon serratus</i>	<i>Sepia officinalis</i>	<i>Venus verrucosa</i>
<i>Donax spp</i>	<i>Lophius piscatorius</i>	<i>Pecten maximus</i>	<i>Seriola dumerilii</i>	<i>Xiphias gladius</i>

Tabla 9: Listado de especies pesqueras comerciales presentes en el litoral malagueño. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Génesis de las alternativas de intervención

Opciones de manejo costero

Se pueden establecer cinco opciones genéricas en la política de defensa costera, según lo propuesto por el proyecto EUROSION de la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea (Lombardo et al, 2002). Estas serían:

- 1) Conservar la línea de costa (en inglés: *Hold the line*), manteniendo o cambiando las protecciones establecidas;
- 2) Avanzar mar adentro (en inglés: *Move seaward*), mediante la construcción de nuevas defensas mar adentro de las originales;
- 3) Retroceso controlado (en inglés: *Managed realignment*), identificando una nueva línea de defensa y construyendo nuevas defensas tierra adentro de las originales;
- 4) Intervención limitada (en inglés: *Limited intervention*), que trabaja con los procesos naturales para reducir los riesgos mientras que se permite el cambio natural en la costa; y
- 5) No hacer nada (en inglés: *Do nothing*), absteniéndose de realizar inversiones en las operaciones y en los dispositivos de defensa costera.

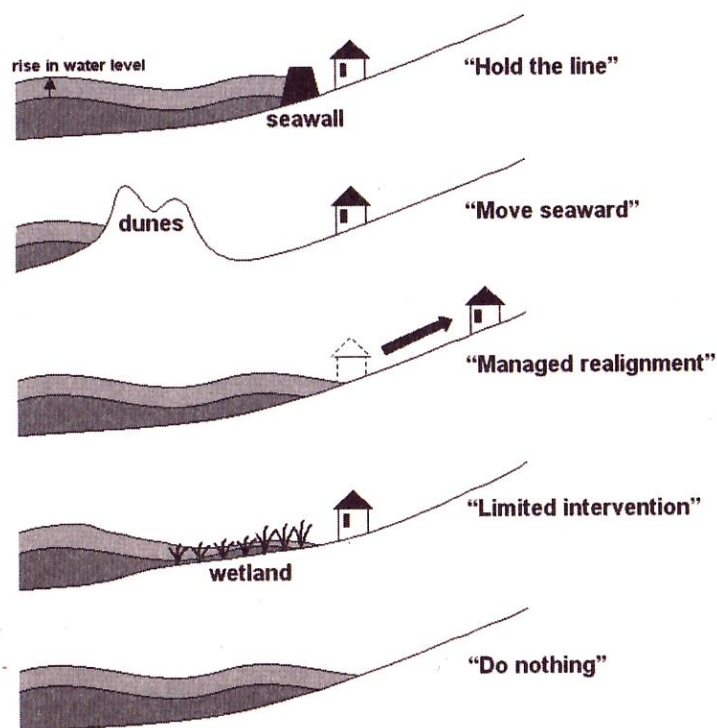


Figura 29. Opciones de manejo costero según EUROSION.
Fuente: Lombardo et al (2002)

En el proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen se consideran como alternativas cuatro variantes de la misma opción: la construcción de estructuras de abrigo y el vertido de áridos para la progradación artificial de la línea de costa.

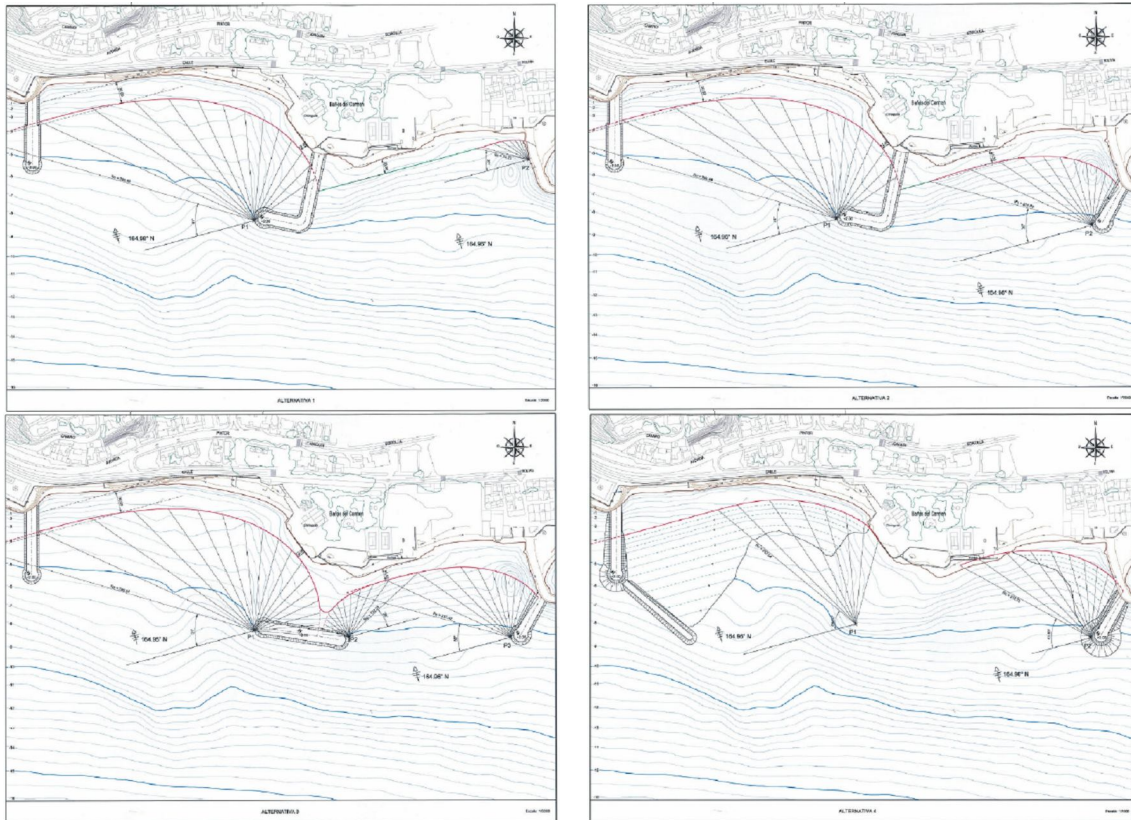


Figura 30. Cuatro alternativas consideradas para una misma opción de intervención.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Resultados

Incertidumbre en la determinación de los parámetros del oleaje

Los parámetros del oleaje incidente en la zona son empleados para la modelización de su efecto en el transporte sedimentario. Cada fuentes empleada en el estudio del proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen (el oleaje visual registrado por los buques en ruta por el Mar de Alborán, las previsiones meteorológicas en un punto de la red WANA cercano a la zona de estudio, y la boya escalar emplazada en la Bahía de Málaga en una localización con profundidad de 22 m) proporciona unos determinados valores para los parámetros del oleaje. Los valores de altura significativa promedio y de dirección del oleaje presentan una variabilidad tal en los diferentes registros que no puede descartarse estadísticamente que contengan una información consistente sobre el mismo fenómeno descrito. Sin embargo, para el periodo de pico, los dos registros considerados (el de la boya escalar y el de los datos visuales) presentan resultados estadísticamente diferenciados, lo cual afecta a la longitud de onda empleada en los diferentes cálculos posteriores, y a las profundidades que delimitan la transición entre las diferentes zonas (aguas profundas, intermedias y someras) y procesos (rangos de validez de la teoría lineal de Airy, profundidad de rotura).

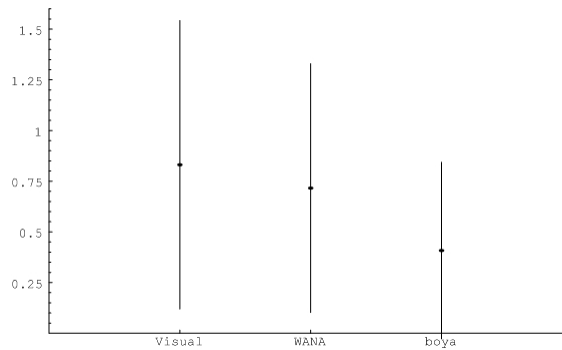


Figura 31. Alturas de ola significativa

El criterio a adoptar para considerar qué sectores de direcciones de oleaje inciden en la zona de estudio hace que si se incluyen los datos de los sectores que coinciden con la orientación de la costa (los correspondientes a WSW y E_{30°} en el registro visual, y el S60W y E_{22,5°} en el registro WANA) varíen considerablemente los resultados obtenidos, como se refleja en la siguiente tabla:

	Sectores de 30°			Sectores de 22,5°
	S60W a E _{30°}	S30W a E _{30°}	S60W a E30S	ESE a SW
Visual	139,6°±69,4°	110,8°±42,6°	159,5°±44,1°	165,9°±51,2°
WANA	157,7°±129,5°	119,2°±43,3°	189,5±61,3°	161,4°±133,8°

Tabla 10: Variación de la dirección promedio del oleaje incidente en función del criterio de inclusión de los sectores extremos

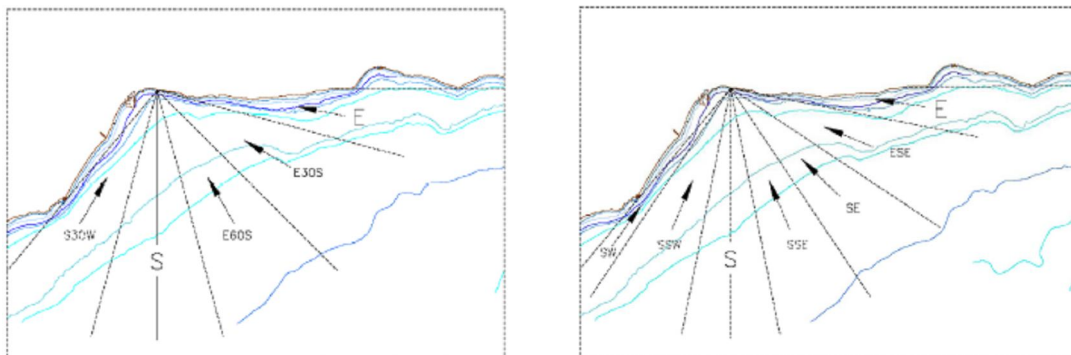


Figura 32. Sectores incidentes. Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

Límite exterior de la interacción con el fondo

Según las determinaciones del régimen extremal en la zona del estudio, el temporal con probabilidad de ocurrir con un periodo de retorno de cada 100 años tendría una altura significativa de ola de 5,25 m, con una horquilla desde 4,43 m hasta 6,28 m para un nivel de significación del 90%. Utilizando la expresión obtenida a partir de los datos de la boya escalar para la correlación entre alturas de olas y periodos de pico del oleaje, este oleaje tendría asociado un periodo de pico de 5,25 s (con una horquilla de variación de entre 4,43 s hasta 6,28 s), lo cual se corresponde con una longitud de onda en aguas profundas de 146,1 m (con horquilla entre los 134,7 m y los 157,3 m). En las figuras que siguen se han representado las profundidades a las que se produce el cambio entre aguas profundas, aguas intermedias y aguas someras, para el oleaje extremal con periodo de retorno de 100 años y para el oleaje medio incidente en la zona, obtenido del registro visual.

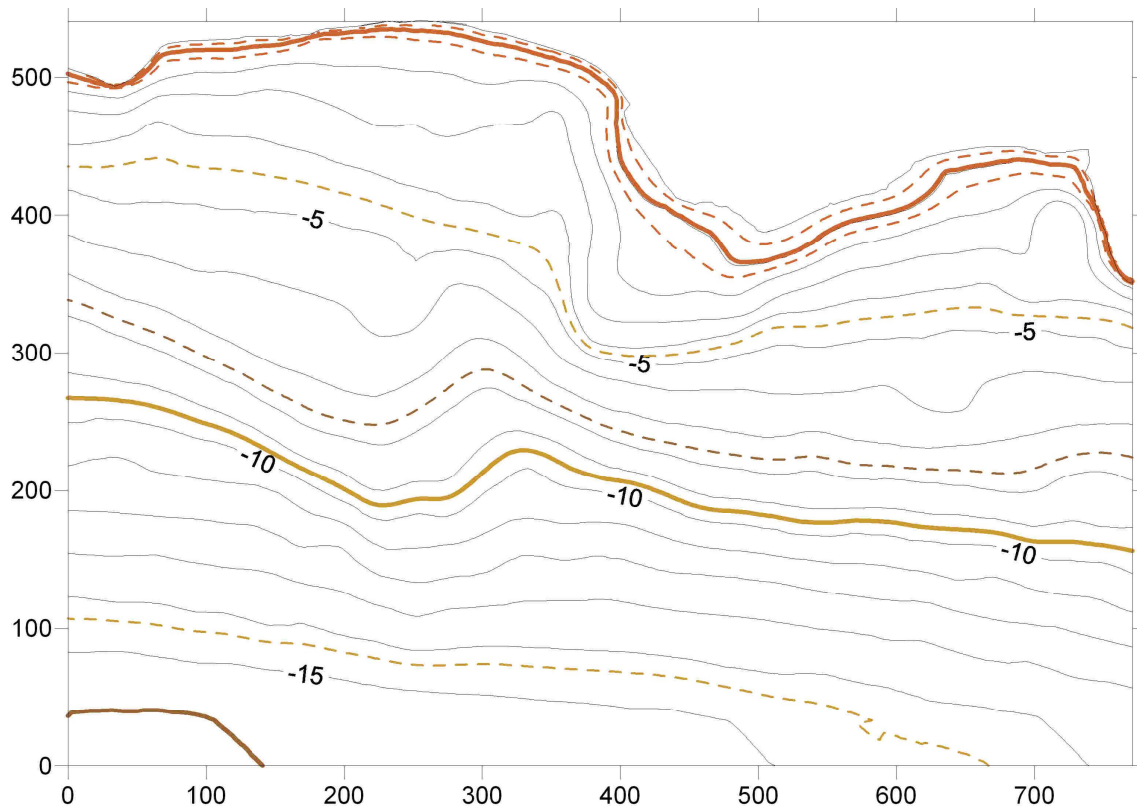


Figura 33. Batimetría de detalle y límites para el oleaje visual promedio. Desde tierra hacia el mar: límite de las aguas someras d_{20} (marrón rojizo), límite entre las aguas intermedias y las aguas profundas d_2 (dorado), límite de interacción del oleaje con el fondo $d_{0,84Lo}$ (marrón); línea continua valor calculado, línea discontinua horquilla de variación correspondiente a una desviación típica.

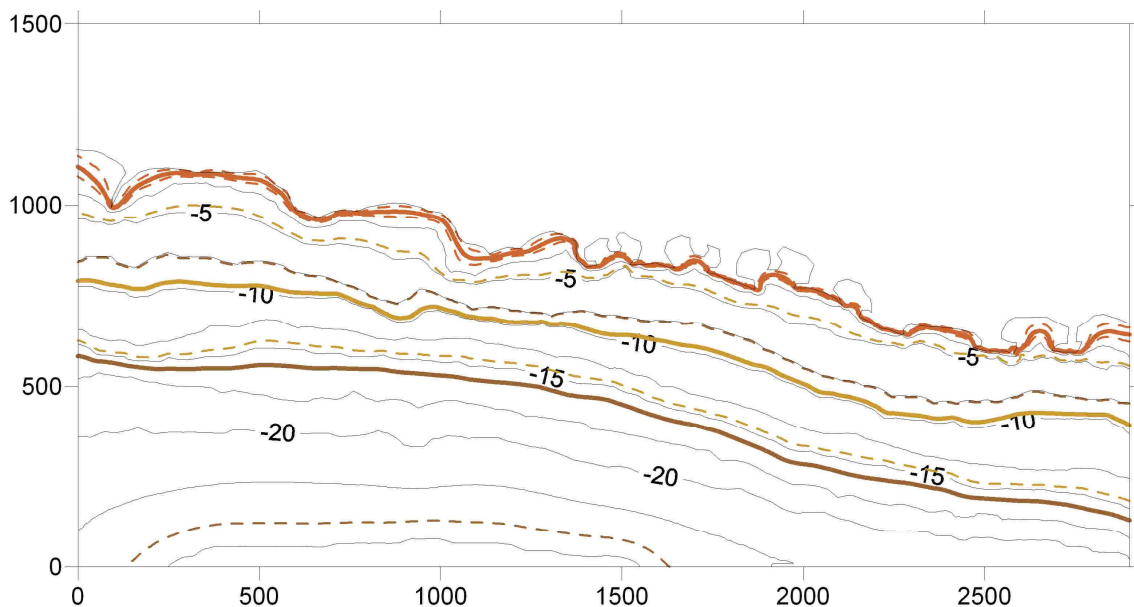


Figura 34. Batimetría local y límites para el oleaje visual promedio. Desde tierra hacia el mar: límite de las aguas someras d_{20} (marrón rojizo), límite entre las aguas intermedias y las aguas profundas d_2 (dorado), límite de interacción del oleaje con el fondo $d_{0,84Lo}$ (marrón); línea continua valor calculado, línea discontinua horquilla de variación correspondiente a una desviación típica.

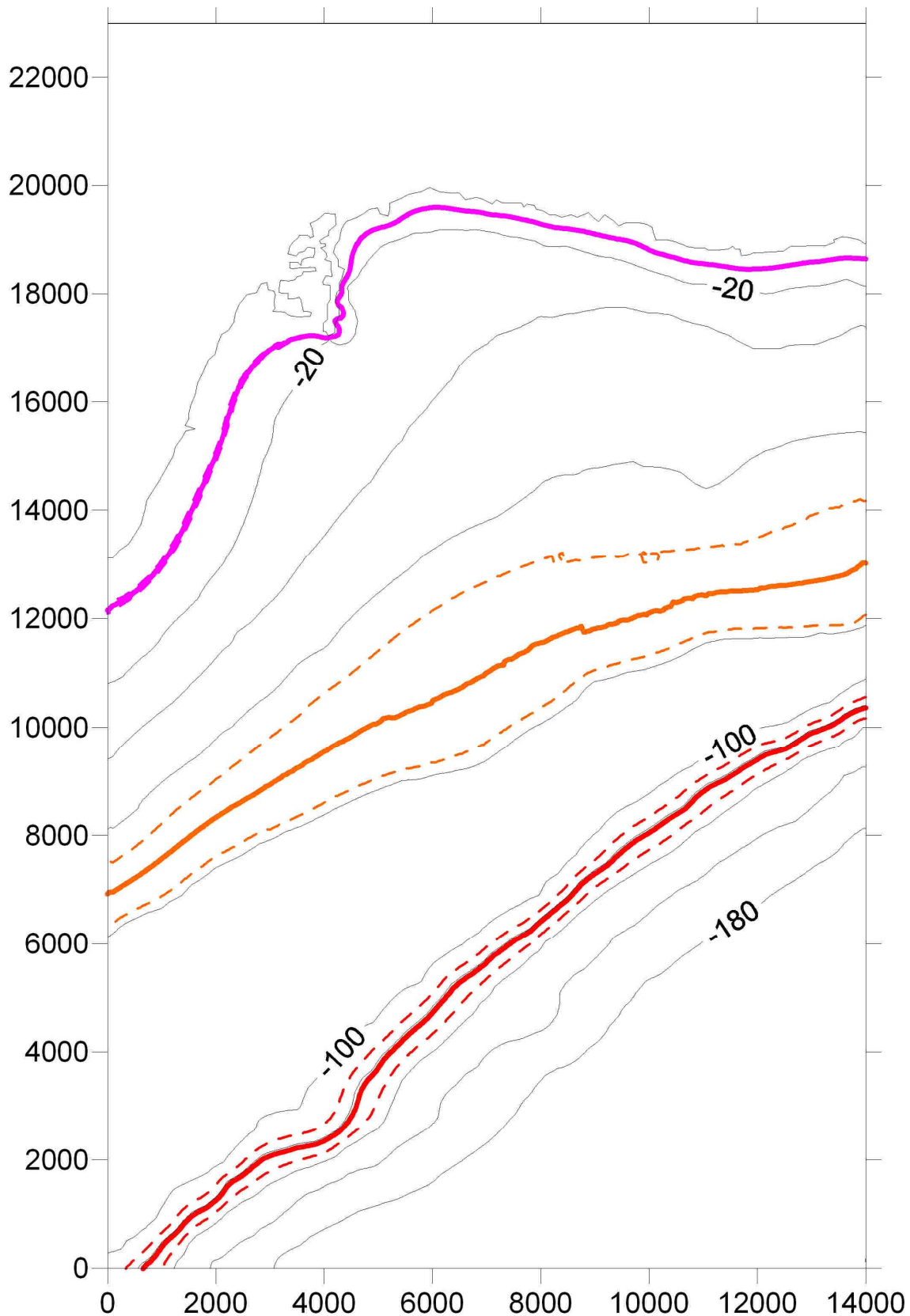


Figura 35. Batimetría regional y límites para el oleaje extremo con 100 años de periodo de retorno. Desde tierra hacia el mar: límite de las aguas someras d_{20} (rosa), límite entre las aguas intermedias y las aguas profundas d_2 (naranja), límite de interacción del oleaje con el fondo $d_{0,84Lo}$ (rojo); línea continua valor calculado, línea discontinua horquilla de variación correspondiente a una desviación típica.



Fotografía realizada por Jose Luis Bustamante

Incertidumbre en la estimación del transporte sedimentario longitudinal

El estudio del proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen se emplean dos aproximaciones complementarias para intentar esclarecer la magnitud del transporte sedimentario longitudinal en la zona del estudio.

La derivada de la modelización del flujo de energía incidente incorpora como variables de entrada del modelo los parámetros del oleaje en rotura: la altura de ola, la dirección y el periodo. Las profundidades de rotura previstas por la formulación de Kaminsky y Kraus (1993) es de $d_b=1$ m. Las alturas de ola en rotura consideradas en el estudio del proyecto son obtenidas a partir de la determinación de unos coeficientes de refracción para una profundidad de rotura no especificada obtenida del estudio de propagación del oleaje con el criterio de rotura de McCowan ($H_s/d=0,78$). Con la aplicación de este coeficiente la altura de ola a esa profundidad para el oleaje de condiciones promedio correspondientes al registro visual ($H_s= 0,83$ m, $T_p= 3,5$ s), la altura de la ola en la rotura considerada es de $H_{sb}= K_f \cdot H_{so} = 0,88 \cdot 0,83$ m = 0,73 m. Sin embargo la altura de ola en rotura que se obtienen de las expresiones propuestas por Munk (1947), con un valor de $H_{sb}= 0,86$ m, y por Komar y Gaughan (1972), $H_{sb}= 0,88$ m, difieren del valor empleado en el estudio del proyecto en un 20 %.

El análisis fotogramétrico en el estudio del proyecto establece la estimación de los volúmenes transportados en la zona comparando cinco fotografías aéreas de distintos años. Sin embargo, en la obtención final de la estimación del transporte se emplea la comparación entre las imágenes de 1957 y 1973, que es la que presenta un mayor valor del transporte, alrededor de 10.000 m³/año en sentido Este hacia Oeste. Los otros tres valores difieren en magnitud e incluso en sentido del transporte.

Esfuerzo de muestreo en la caracterización del bentos

De las 48 especies encontradas en los tres lugares muestreados en los que se realizaron tres réplicas para cada lugar (un total de nueve muestras), pocas coinciden en aparecer en varias de las muestras a la vez, incluso entre las réplicas de un mismo lugar muestreado, lo cual se plasma en el gráfico de similaridad de Bray Curtis, que se incluye a continuación.

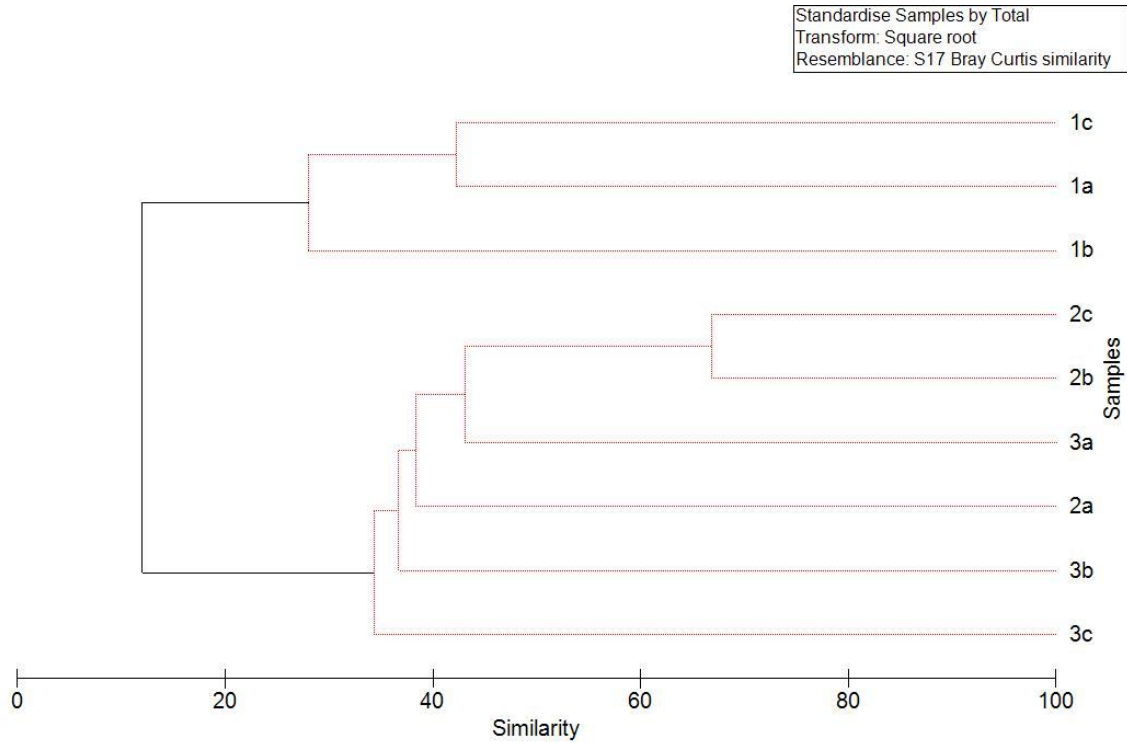


Figura 36. Similaridad de Bray Curtis

Para estimar el esfuerzo de muestreo se ha realizado la curva de acumulación de especies (mediante la realización de 999 permutaciones). La aparición de un gran número de nuevas especies indica que el esfuerzo de muestreo realizado es insuficiente para la caracterización de la zona.

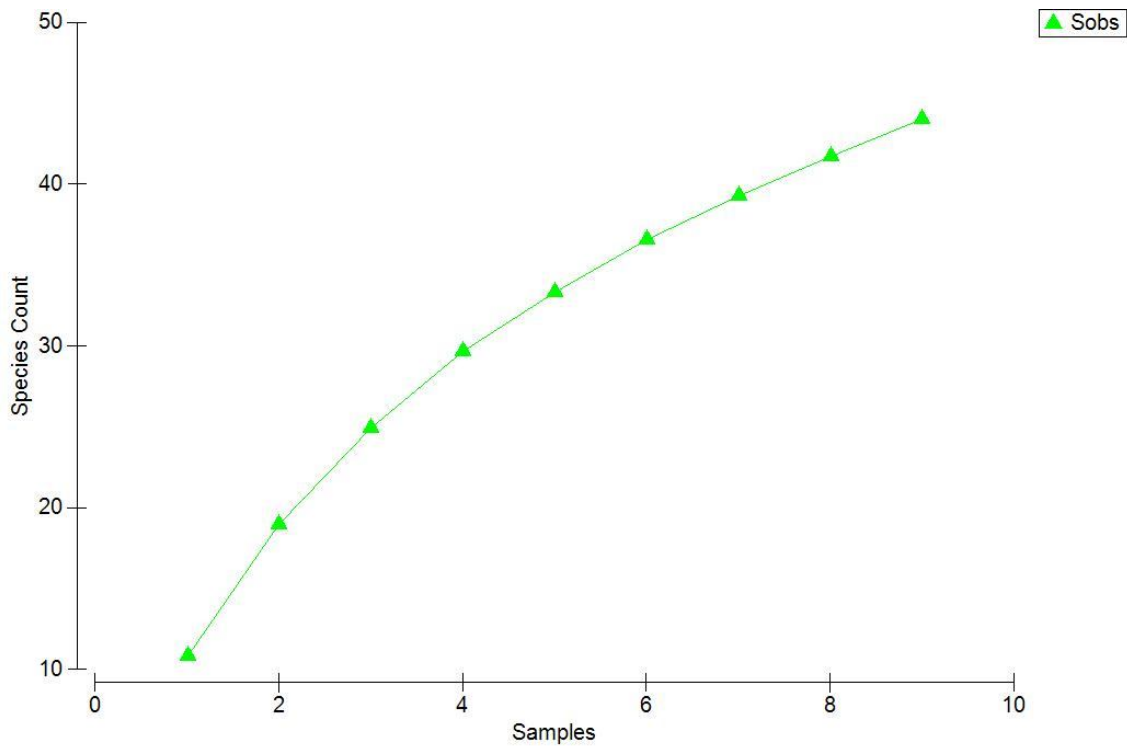


Figura 37. Esfuerzo de muestreo bentónico

Incertidumbre en la identificación de las comunidades biológicas

Cinco biocenosis han sido representadas en la cartografía temática del estudio del proyecto, las correspondientes a "guijarros infralitorales" (representada en gris), "arenas finas" (en amarillo), "roca infralitoral fotófila" (en naranja), "arenas fangosas" (en verde), y la del "detrítico costero" (en magenta). De ellas, en la zona de los Baños del Carmen, se refleja la presencia de tres de las cinco comunidades consideradas (la "guijarros infralitorales", la de "arenas finas" y la de "arenas fangosas", según se disponen al alejarse de la costa). La comunidad de "roca infralitoral fotófila" no es representada en la zona de los Baños del Carmen, y sólo se muestra su presencia en las playas alveolares del barrio vecino de Pedregalejo. Sin embargo si observamos el plano de distribución de sedimentos superficiales, la zona caracterizada como con una comunidad de "guijarros infralitorales" es coloreada como "roca".

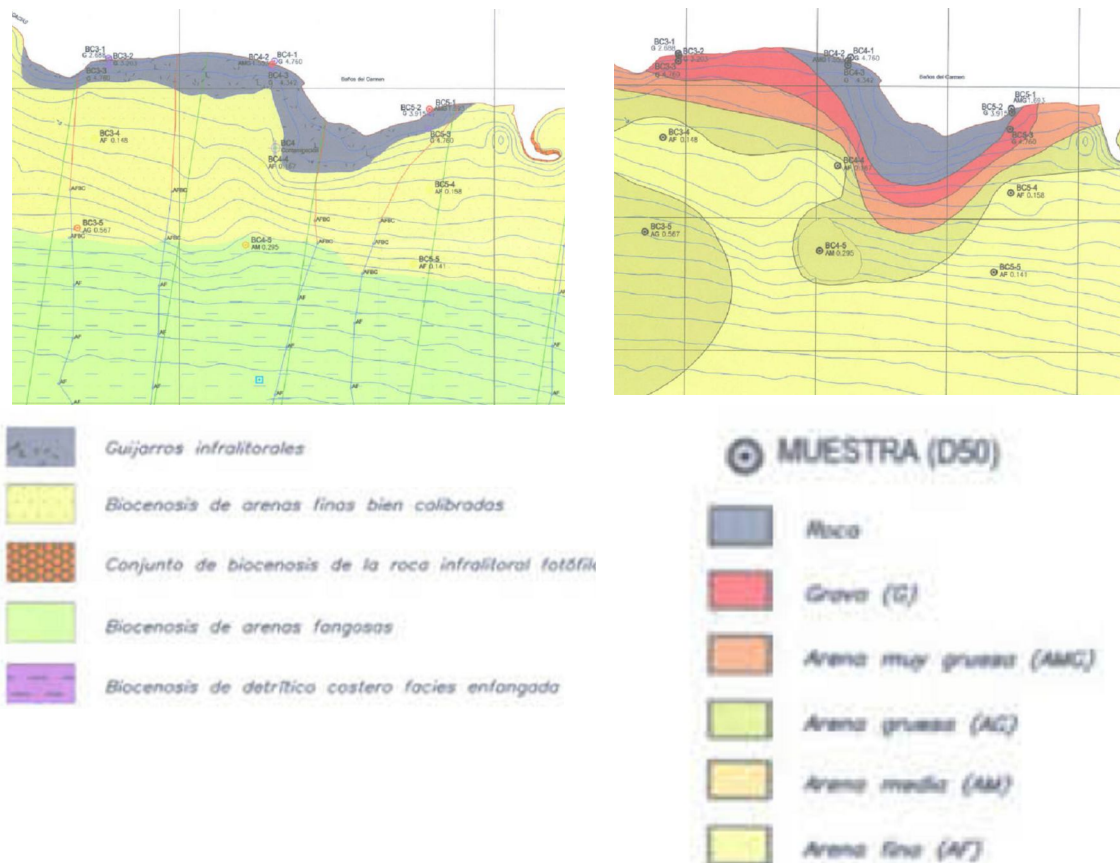


Figura 38. Detalle y leyendas de los planos de biocenosis y de muestreo granulométrico.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En las fotografías siguientes se puede apreciar desde foto aérea, y a ras del terreno la naturaleza de la zona caracterizada en el estudio del proyecto como de biocenosis de "guijarros infralitorales". Los bloques rocosos forman un hábitat diferente del identificado, base para el asentamiento de algas y más acorde con la identificación de biocenosis de "roca infralitoral fotófila".



Figura 39. Foto aérea del roquedo



Figura 40. Foto al ras del roquedo.
Fotografía por cortesía de Agustín Barraji3n Mínguez

Alternativas a la progradación artificial de la costa

La disminución de la acción erosiva del oleaje es el efecto buscado con la construcción de las estructuras de defensa que se proponen en la alternativa elegida en el proyecto de regeneración. La interposición física de la estructura de la escollera haría que la energía procedente de ciertas direcciones del oleaje efectivamente no actuara sobre el sedimento depositado en el otro lado de la escollera. Aún así otras direcciones de oleaje podrían continuar afectando y movilizándolo mediante el fenómeno de la dispersión, no siendo seguro el hecho de que el sedimento alóctono vertido en la recarga artificial continúe en la playa regenerada más allá de un cierto tiempo de difícil determinación, con lo que la continua recarga de adicionales sedimentos alóctonos puede hacer dependiente a esta playa de intervenciones periódicas en este sentido. Sin embargo la interposición física de una estructura rígida no tiene por que ser la única ni la mejor opción para disminuir el fenómeno de la erosión. Otros factores pueden ser considerados, como el factor de fricción por fondo f_w , cuyo valor para fondos de arena fina es pequeño, con lo que actuaciones que favorecieran el incremento de la rugosidad del fondo podrían modificar su comportamiento. En este sentido dos posibles líneas de intervención sinérgicas han sido

omitidas en la génesis de alternativas del proyecto. La colocación de arrecifes artificiales (a profundidades mayores de 15 m, por motivos de seguridad marítima) representa una herramienta que es usada de forma sectorial para la protección física de los fondos marinos ante las artes de pesca de arrastre, las cuales al parecer no siempre se atienen a la normativa establece la prohibición de actuar a profundidades inferiores a 50 m. Su efecto en el comportamiento mecánico del fondo en la atenuación de la energía incidente, especialmente de las situaciones de temporal, podría representar una primera línea experimental alternativa. La segunda podría ser, de forma sinérgica con la anterior, la regeneración de la comunidad bentónica de las praderas de fanerógamas marinas. Su efecto en la disipación de la energía de los oleajes de mayor profundidad de acción (en situaciones de temporal) es citado recurrentemente en la literatura especializada correspondiente a las disciplinas biológicas, y sin embargo en las publicaciones de las disciplinas de la ingeniería de costas no es incorporada al abanico de opciones posibles. Ambas líneas de actuación se enmarcarían en la opción genérica de política de defensa costera de una "Intervención limitada", colaborando con los procesos naturales.

La opción de la no actuación, el "No hacer nada", última de la lista de cinco opciones de políticas genéricas de defensa costera, también representa una opción a considerar. Sus beneficios y perjuicios pueden ser evaluados junto con los de las demás opciones en orden a la realización de un proceso efectivo de toma de decisiones que desemboque en una actuación satisfactoria.

Discusión

Desde la generación del oleaje en alta mar hasta la modificación del perfil de las playas se concatenan una serie de procesos naturales cuya comprensión acumula herramientas en mayor o menor medida desarrolladas y capaces de reducir nuestra incertidumbre en cuanto a la caracterización de esos procesos. Estas herramientas pertenecen al rango de estudio de diferentes subdisciplinas y campos de conocimiento. Es así que nos encontramos ante un problema claramente interdisciplinar. La determinación de las características del oleaje incidente, objeto de la oceanografía, proporciona información incorporable a la determinación del flujo del transporte sedimentario longitudinal. Así mismo la incertidumbre en la determinación de estos parámetros del oleaje se trasladan a la cuantificación del transporte sedimentario, añadiéndose a la propia incertidumbre incorporada por las asunciones del método de estimación como la de que el transporte sedimentario sea linealmente proporcional al flujo de energía incidente. El uso de diferentes teorías de ondas para la forma de la ola, al atravesar las diferentes regiones al acercarse a la costa, hace que las teorías más sencillas (teoría lineal de Airy) y de uso más extendido, vayan perdiendo progresivamente validez, haciéndose necesario el empleo de teorías más complejas adaptadas a unas condiciones menos idealizadas. La capacidad de los instrumentos actuales como el uso de las aplicaciones informáticas de modelización numérica (por ejemplo, SWAN para la propagación del oleaje), de los sistemas de álgebra computacional (como Mathematica), o de representación gráfica (como Surfer), además del software de uso general (por ejemplo, Excel), hacen que el tratamiento de estas formulaciones teóricas no tengan que estar ya más fuera del alcance del nivel académico. Así la integración entre los enfoques de la teoría física y las descripciones del conocimiento acumulado en la geomorfología, sedimentología y otras ramas relacionadas con el litoral de las Ciencias de la Tierra, hacen que podamos trazar un entramado de relaciones sobre cualquier ámbito de la elección del interés de algún determinado estudio. Como en este

caso el incluido en la realización del proyecto de regeneración de la playa de los Baños del Carmen, en el término municipal de Málaga.

Sin embargo la cantidad de conocimiento de base del que se dispone puede resultar una limitación. Y en este caso los registros de oleaje utilizados para el caso de estudio presentan unas características que hacen que la aplicabilidad de la información que proporcionan sea tan sólo limitada, especialmente en lo referido al periodo de pico del oleaje T_p , para el que se han obtenido datos dispares que condicionan la calidad de los cálculos posteriores obtenidos a partir de él, como la longitud de onda en aguas profundas L_o , la altura de ola H_{sb} y el ángulo de incidencia en rotura α_b , la profundidad misma donde se produce la rotura d_b , o la estimación del transporte sedimentario en base al flujo de energía del oleaje Q .

La determinación teórica del transporte longitudinal en su uso con fines predictivos ha sido criticada por Pilkey y Cooper (2002). Según ellos, el método usual para la determinación neta del volumen de transporte longitudinal usualmente "consiste en un proceso que envuelve estos cinco pasos:

- 1) Obtener la altura de ola en las aguas profundas desde mediciones del oleaje o a partir de previsiones de olas basadas en registros meteorológicos;
- 2) Llevar las olas a lo largo de la fachada costera desde las aguas profundas usando un modelo de refracción del oleaje, con la asunción de que la batimetría es bien conocida, seleccionando un tren de olas si es que hay más de uno;
- 3) La elección de una altura de ola en aguas someras, la mayoría de los modelos asumen que la mayor parte de la arena es transportada por oleajes mayores que el promedio;
- 4) Romper la ola eligiendo primero una forma para el fondo marino en la rompiente. En las realizaciones en EE.UU. lo más frecuente es el empleo de una fachada costera determinada matemáticamente (Dean, 1991), asumiendo que es un perfil de equilibrio;
- 5) Mover la arena. Normalmente se asume que la arena es de un tamaño de grano y clasificación uniformes y que no hay pérdidas hacia las dunas, por sobrelavado o hacia mar adentro".

Al respecto de la calidad de los datos de entrada al modelo, formulan las siguientes preguntas críticas a modo de ejemplo, al respecto de la "altura de ola":

- ¿Qué altura escoger?
- ¿Cómo tener en cuenta las olas de temporal?
- ¿Cómo considerar los trenes de olas multidireccionales?
- ¿Qué teoría de olas usar (Stokes, Cnoidal, etc.)?
- ¿Cómo describir el espectro del oleaje?

Algunos de estos interrogantes han sido afrontados en el estudio del proyecto de regeneración de los Baños del Carmen por el equipo redactor, tomando posición al respecto de, por ejemplo, el tercer interrogante. La consideración de los trenes de ola

multidireccionales se ha realizado a base de considerar los cálculos para el oleaje en cada una de los sectores direccionales en los que se ha dividido el oleaje incidente y proceder a una agregación final de los resultados. En similares términos se ha abordado por parte del equipo redactor la primera cuestión de la elección de la altura de ola, considerando un abanico de alturas al realizar los cálculos.

Por otra parte la segunda y cuarta pregunta han sido exploradas en la realización de este trabajo, mediante la consideración del temporal con periodo de retorno de 100 años, que representa un caso "extremo" en cuanto a la consideración de la escala temporal en una intervención humana en la costa. La representación en la batimetría regional de las profundidades a las que la ola comienza a interactuar con el fondo ($d_{0,88L_0}$), donde cambia de ser considerada en aguas profundas a aguas intermedias (d_2), y de donde comienza a denominarse en aguas someras (d_{20}), da una idea de la amplitud espacial de los posibles efectos de los temporales sobre los sedimentos del fondo. En cuanto a las diferentes teorías no lineales de olas, la aplicación de la teoría Cnoidal para la determinación de los parámetros de la ola en las aguas intermedias y someras hasta la llegada a la profundidad de rotura representaría una mayor fidelización respecto del uso actual de la teoría lineal de Airy. Muestra de esta limitación actual es que los valores de la celeridad de grupo C_{gb} y de la densidad de energía E_b considerados en la determinación del volumen transportado de sedimentos Q , corresponden a los formulados en la teoría de Airy, pese a ser evaluados en condiciones de rotura.

Significativamente, tras la caracterización del transporte sedimentario, la génesis de alternativas considera la opción única de las estructuras rígidas de defensa costera para proteger la recarga de árido alóctono, lo cual presumiblemente vendría a alterar el flujo sedimentario longitudinal en la zona. Al interrumpir el tránsito en sentido de este hacia oeste, cuantificado en un valor promedio de $40.000 \text{ m}^3/\text{año}$, se consolidaría la "compartimentalización" del tramo costero, cambiando sustancialmente su hidrodinámica al quedar como una playa alveolar más, similar a las adyacentes del Barrio de Pedregalejo, con la consecuente homogeneización del paisaje, degradación de los hábitats actualmente existentes y pérdida de biodiversidad.

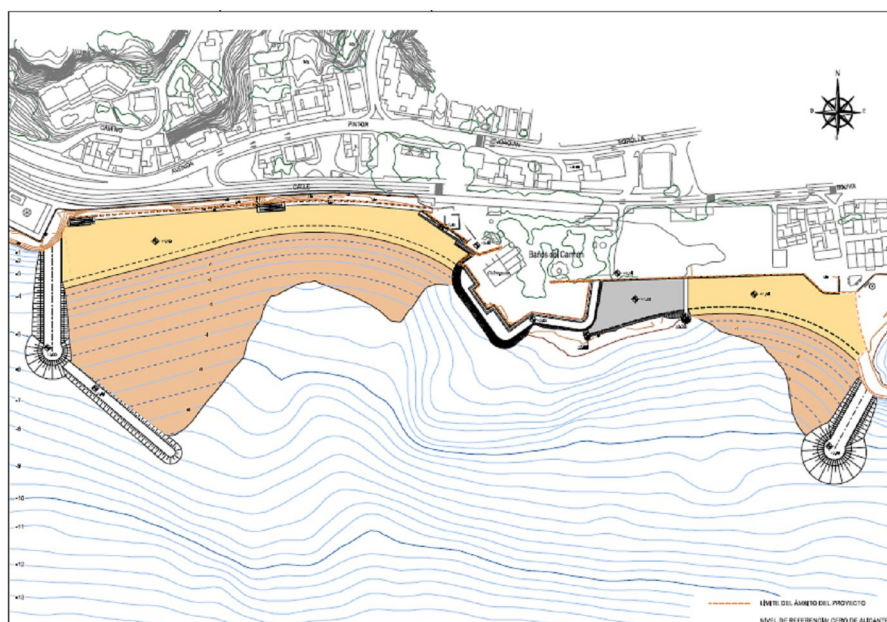


Figura 41. Planta general de la regeneración.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

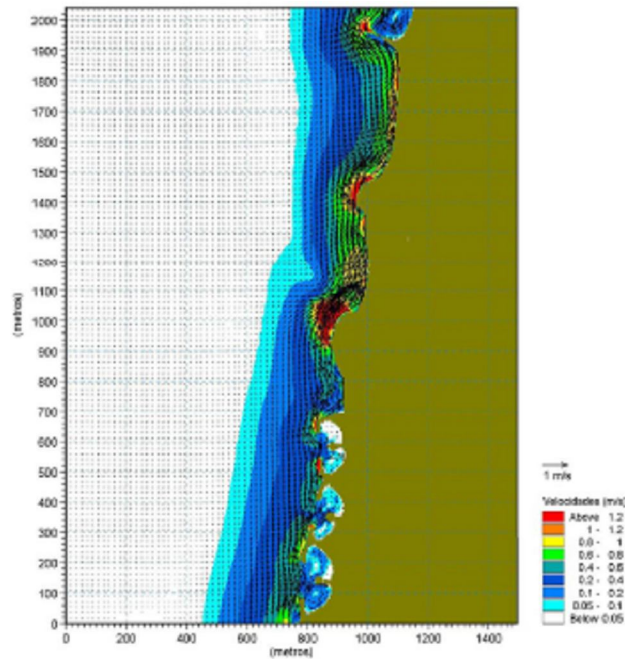


Figura 42. Corrientes inducidas por rotura de oleaje E30S, $T_p=8,7$ s, $H_{s0}= 3,5$ m.
Fuente: Demarcación de Costas de Málaga (2007)

En cuanto a la presencia de una comunidad bentónica asociada al roquedo, la localización de los puntos del muestreo granulométrico a uno y a otro lado de éste, pero sin incluir ninguna toma de sedimentos en él, hace que su presencia haya sido omitida de la caracterización biológica. Lo que en plano de granulometría es indicado como "roca" en el plano de las biocenosis es mostrado como comunidades de "guijarros infralitorales". Sin embargo en el texto del estudio se llega a expresar la presencia de comunidades asentadas en el roquedo caracterizadas por el algas pardas *Cystoseira tamariscifolia*, la biocenosis que denomina como fotófila de la roca infralitoral superior en modo batido según la terminología de Boudouresque (1984). La presencia de esta comunidad en los fondos del roquedo es de relevancia biológica y entraña una potencialidad como recurso para el acercamiento de la población local al conocimiento ambiental del medio marino, tal y como lo expresan recientemente el en Diario 20 Minutos dos biólogos de un equipamiento local de educación ambiental, el Aula del Mar de Málaga:

“

El tesoro subacuático de los Baños del Carmen está a tiro de piedra

A. BLANCO. 16.07.2008

* El Aula del Mar destaca que esta zona puede servir para acercar la naturaleza submarina a los malagueños.

[[...]]

El biólogo colaborador del museo-acuario Aula del Mar José Antonio Rodríguez destaca que hace 30 años los fondos marinos de Málaga eran «como 'césped', estaban llenos de algas y vida».

Pero los barcos pesqueros ilegales que durante años han arrasado los fondos y la creación (desde los años 60) de playas arenosas para el turismo han acabado con ese patrimonio.

«Posiblemente la vida allí se ha visto favorecida porque los Baños del Carmen están relativamente protegidos de la pesca profesional», relata Rodríguez, que señala que la abundancia de anémonas también indica que la zona registra contaminación por nitratos.

El director del Aula del Mar, Juan Jesús Martín, incide en la importancia de un molusco en peligro de extinción que existe en este lugar. Se trata del dátil de mar, que horada la roca y se cría en ella (crece unos pocos milímetros al año). "

La presencia del dátil de mar *Lithophaga lithophaga* tampoco ha sido recogida en el estudio del proyecto de regeneración de la playa, al igual que otra especie protegida, en este caso terrestre, el endemismo botánico *Limonium malacitanum* (Siempreviva malagueña), que ha arraigado en la playa de levante, encontrando entre los restos de las edificaciones al pie del mar un entorno propicio para proliferar, observándose numerosos pies de la pequeña planta justo a la vera de las pistas de tenis centenarias. La Delegación Provincial de la Consejería de Medio Ambiente en Málaga en la *Declaración Previa de Impacto Ambiental de la Revisión Adaptación del Plan General de Ordenación Urbanística de Málaga* expresa que "el planeamiento de desarrollo deberá tener en cuenta la presencia en este ámbito de *Limonium malacitanum*, especie catalogada en peligro de extinción (Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la flora y fauna silvestres). Deberán preservarse los ejemplares presentes y su hábitat de distribución potencial".



Figura 43: Flor de *Limonium malacitanum*.
Fotografía por cortesía de Agustín Barrajon Mínguez

La insuficiencia en la caracterización ambiental en la zona, y la carencia en la incorporación del criterio de precaución, se concreta en la negativa a realizar el trámite de Evaluación de Impacto Ambiental por parte de la anteriormente denominada *Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático* del *Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino*, que en Resolución del 23 de noviembre de 2007 adopta la decisión de no someter

a evaluación de impacto ambiental el proyecto Regeneración de la playa de los Baños del Carmen, en Málaga (BOE num. 4, 4/1/2008). Actualmente la *Federación Provincial de Ecologistas en Acción de Málaga* promueve ante la Sala de lo Contencioso Administrativo de la Audiencia Nacional un recurso contencioso administrativo contra esta decisión.

La percepción social de amenaza al respecto de la conservación del enclave costero de los Baños del Carmen se plasma en la realización de 1672 alegaciones a la revisión PGOU de Málaga en octubre de 2006. En este sentido el caso de los Baños del Carmen representa un terreno de estudio para disciplinas adicionales, más allá de la caracterización de los procesos naturales, implicando aspectos tocantes con la participación ciudadana, el derecho ambiental, el urbanismo y la economía. La comprensión de estos planos adicionales de la realidad y de la imbricación entre ellos, representa una concreción a nivel local de la materia con la que la EA-GIZC ha de enfrentarse a una mayor escala, a escala andaluza. La compleja situación de la principal urbe costera andaluza, entramado de relaciones socioeconómicas y culturales donde la preservación del patrimonio cultural y natural no siempre representa la tendencia dominante contextualiza la realidad de esta pequeña parcela del litoral andaluz, sujeta a las tensiones actuales y fruto maduro de ese reto.

Conclusiones

La simple yuxtaposición de distintos análisis "monodisciplinarios" más o menos someros no garantiza la adecuada comprensión de los procesos subyacentes a la problemática abordada en el estudio del proyecto, ni facilita la formulación de intervenciones dirigidas a cumplir satisfactoriamente los objetivos propuestos. En estas circunstancias, la toma de decisiones y, con anterioridad, la génesis de las alternativas, puede quedar relegada a la lógica propia de una de las disciplinas, la de la ingeniería de costas tal y como se ejerce actualmente en el estado español, quedando el resto del conocimiento acopiado en el estudio del proyecto desconectado de la cadena lógica de exposición del mismo.

La segunda meta estratégica de la EA-GIZC se plantea el "Disponer de instrumentos apropiados para un modelo más integrado de gestión costera", y el objetivo estratégico 3.4 el "Ofrecer información pública suficiente y disponer de un conocimiento científico adecuado para afrontar el proceso de cambio". En la medida en la que la EA-GIZC se ocupa del objeto y puede ayudar a su comprensión, sus objetivos pueden adquirir realidad y utilidad en aras a la supervivencia del carácter cultural marinero del pueblo andaluz.

Referencias

- Barragán, J. M., Chica, A. y Pérez, M. L. (2008). *Propuesta de Estrategia Andaluza de Gestión Integrada de Zonas Costeras*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla.
- Boudouresque, C. F. (1984). *Groupes écologiques d'algues et phytocénoses benthiques en Méditerranée Nord-Occidentale: une revue*. Giorn. bot. Ital., 118 (1-2). pp. 7-42.
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. y Wright, J. (1999). *Waves, tides and shallow-water processes*. Ed. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- Carter, R. W. G. (1988). *Coastal environments*. Ed. Academic Press. London.

- Dean, R. (1991). *Equilibrium beach profiles, characteristics and applications*. Journal of Coastal Research, 7. pp. 53-84.
- Del Valle, R., Medina, R. y Losada, M. A. (1993). *Dependence of Coefficient K on Grain Size*. J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg., 119 (5). pp. 568-574.
- Demarcación de Costas de Málaga (2007). *Proyecto refundido de regeneración de playa y parque marítimo de Baños del Carmen, T. M. de Málaga*. Dirección General de Costas (Ministerio de Medio Ambiente). Consultado en [http://banosdelcarmen.mine.nu/documentos/\(26/11/2008\)](http://banosdelcarmen.mine.nu/documentos/(26/11/2008)).
- Diario 20 minutos. Edición de Málaga del 16/7/2008. Consultado en [http://www.20minutos.es/noticia/399535/0/banos/carmen/fondo/\(26/11/2008\)](http://www.20minutos.es/noticia/399535/0/banos/carmen/fondo/(26/11/2008))
- Kaminsky, G. y Kraus, N. C. (1993). *Evaluation of depth-limited wave breaking criteria*. Waves' 93, Amer. Soc. Civil Engrs., pp. 180-193.
- Komar, P. e Inman, D. (1970). *Longshore sand transport on beaches*. Journal of Geophysical Research, 75. pp. 5514-5527.
- Komar, P. D. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Ed. Prentice-Hall. New Jersey.
- Komar, P. D. y Gaughan, M. K. (1972). *Airy wave theory and breaker height prediction*. Proceedings of the 13th Coastal Engineering Conference, Amer. Soc. Engrs. pp. 405-418.
- Lombardo, S., Niesing, H., Salman, A. y Lucius, I. (2002) *Capitalising knowledge for managing coastal erosion: The EUROSION Initiative*. En: Proceedings of the 6th International Symposium Littoral 2002. Veloso, F., Taveira, F y Neves, L. (eds.). Oporto.
- Mandelbrot, B. B. (1967). *How long is the coast of Great Britain? Stadistical self-similarity and fractional dimension*. Science, 156. pp. 636-638.
- Munk, W. H. (1949). *The solitary wave theory and its applications to surf problems*. New York Academy of Science Annals, 51. pp. 376-401.
- Pilkey, O. H. y Cooper, J. A. (2002). *Longshore transport volumes: A critical view*. Journal of Coastal Research, 36. pp. 572-580.
- Reinoso, R. (2007). *Topografías del paraíso. La construcción de la ciudad de Málaga entre 1897 y 1959*. Ed. Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga y Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Málaga. Málaga.
- Sleath, J. F. A. (1984). *Sea Bed Mechanics*. Ed. Willey. Chinchester.

Rafael Alberti

El mar. La mar.
El mar. ¡Sólo la mar!

¿Por qué me trajiste, padre,
a la ciudad?

¿Por qué me desenterraste
del mar?

En sueños, la marejada
me tira del corazón.
Se lo quisiera llevar.

Padre, ¿por qué me trajiste
acá?

--

Si mi voz muriera en tierra,
llevadla al nivel del mar
y dejadla en la ribera.
Llevadla al nivel del mar
y nombradla capitana
de un blanco bajel de guerra.
Oh mi voz condecorada
con la insignia marinera:
sobre el corazón un ancla
y sobre el ancla una estrella
y sobre la estrella el viento
y ¡sobre el viento una vela!