



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



HIDTMA

Estudio de Dinámica Litoral *Zumaia*



Septiembre 2017

Puerto de Zumaia

MEMORIA

ÍNDICE

MEMORIA

1 Introducción	1
2. Estudio del clima marítimo	3
2.1 Introducción	3
2.2 Oleaje exterior	3
2.3 Vientos	5
2.4 Mareas	6
2.5 Propagaciones de los oleajes exteriores	9
2.6 Clima marítimo frente a la zona de estudio	11
2.7 Variaciones del nivel medio del mar	13
3. Evolución de la línea de costa	14
4. Dinámica sedimentaria y capacidad de transporte litoral	16
4.1 Introducción	16
4.2 Régimen hidráulico y de aportaciones sedimentarias del río Urola	16
4.3 Energía del oleaje incidente	17
4.4 Energía incidente en Zumaia	18
4.5 Modelo del estuario	20
5. Dinámica resultante de los efectos del cambio climático	39
6. Plan de Seguimiento de las actuaciones previstas	41
7. Propuesta de minimización y posibles medidas correctoras	43

Capítulo 1

Introducción

El Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras en su gestión habitual de 15 puertos del País Vasco tiene prevista la realización de dragados de mantenimiento en los mismos.

El Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, además de otras prescripciones, indica que cuando un proyecto contenga la previsión de actuaciones en el mar o en la zona marítimo-terrestre, deberá comprender un estudio básico de la dinámica litoral referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 93 de este reglamento (artículo 44.3 de la Ley 22/1988, de 28 de julio).

Por su parte, el artículo 93 indica que el estudio básico de dinámica litoral se acompañará como anejo a la Memoria, y comprenderá los siguientes aspectos:

- a) Estudio de la capacidad de transporte litoral.
- b) Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.
- c) Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.
- d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.
- e) Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de
- f) equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.
- g) Naturaleza geológica de los fondos.
- h) Condiciones de la biosfera submarina y efectos sobre la misma de las actuaciones previstas en la forma que señala el artículo 88 e) de este reglamento.
- i) Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.
- j) Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.
- k) Propuesta para la minimización, en su caso, de la incidencia de las obras y posibles medidas correctoras y compensatorias.

El objeto del presente Informe es analizar de entre todos los aspectos que deben ser incluidos en el estudio básico de dinámica litoral los siguientes:

- a) Estudio de la capacidad de transporte litoral.
- b) Balance sedimentario y evolución de la línea de costa, tanto anterior como previsible.
- c) Clima marítimo, incluyendo estadísticas de oleaje y temporales direccionales y escalares.
- d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.



- j) Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.
- k) Propuesta para la minimización, en su caso, de la incidencia de las obras y posibles medidas correctoras y compensatorias.

Por cuestiones de proporcionar coherencia técnica al documento se modificará el orden con el que las distintas materias son analizadas.

Capítulo 2

Clima Marítimo

2.1 Introducción

Este apartado describe los aspectos relacionados con los agentes que determinan la dinámica litoral, como son:

- Los oleajes exteriores
- Los vientos
- El régimen de mareas astronómicas

Una vez determinado el clima marítimo exterior incidente, se ha calculado la incidencia de los principales oleajes hasta el frente del puerto. Para ello se ha utilizado una serie de modelos matemáticos que permiten trasladar el clima marítimo exterior hasta el frente de la zona de estudio.

2.2 Oleaje exterior

Se analiza el clima marítimo medio incidente en el entorno de Zumaia, a partir de los datos de oleaje registrados en las Bases de Datos de Puertos del Estado.

La boya más cercana a la zona de estudio es la boya de Bilbao Vizcaya, perteneciente a la red de aguas profundas, cuya ubicación se muestra en la figura 2.1. Se trata de una boya provista de un sensor de oleaje direccional, fondeada a una profundidad de 600 m con periodo de cobertura desde 1990 hasta la actualidad. Es una boya de tipo Seawatch constituida por una plataforma flotante capaz de alojar varios sensores que tienen como objeto medir parámetros atmosféricos y meteorológicos. Las comunicaciones con la boya se realizan vía satélite, y la alimentación corre a cargo de paneles solares que, combinados con baterías, dotan a la boya de suficiente autonomía. Los datos que registra son alturas y periodos de oleaje con una frecuencia de 1 hora, proporcionando además direcciones de procedencia del oleaje.



Figura 2.1 – Ubicación de la boya de Bilbao-Vizcaya

La figura 2.2 muestra una representación polar de la altura de ola y la dirección de incidencia de cada uno de los registros direccionales disponibles en la boya desde el año 1990. Por su parte, la figura 2.3

muestra la rosa de oleaje calculada en cada punto a partir de estos datos. En ellas puede verse cómo los oleajes que predominan son los correspondientes al sector direccional WNW-NNW, con alturas de ola significativa que pueden llegar a superar los 12 m.

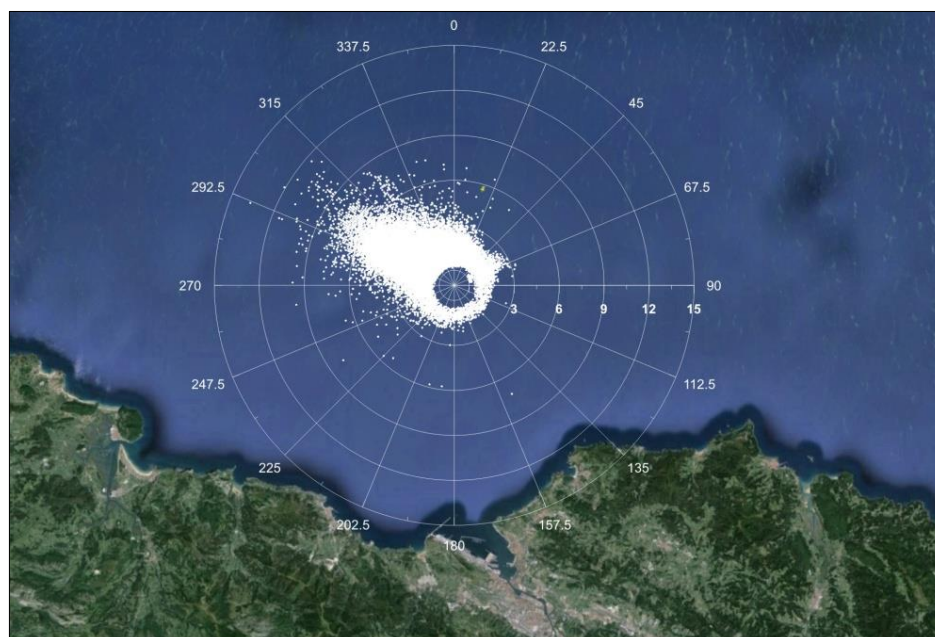


Figura 2.2 – Representación polar de los datos de la boya de Bilbao-Vizcaya

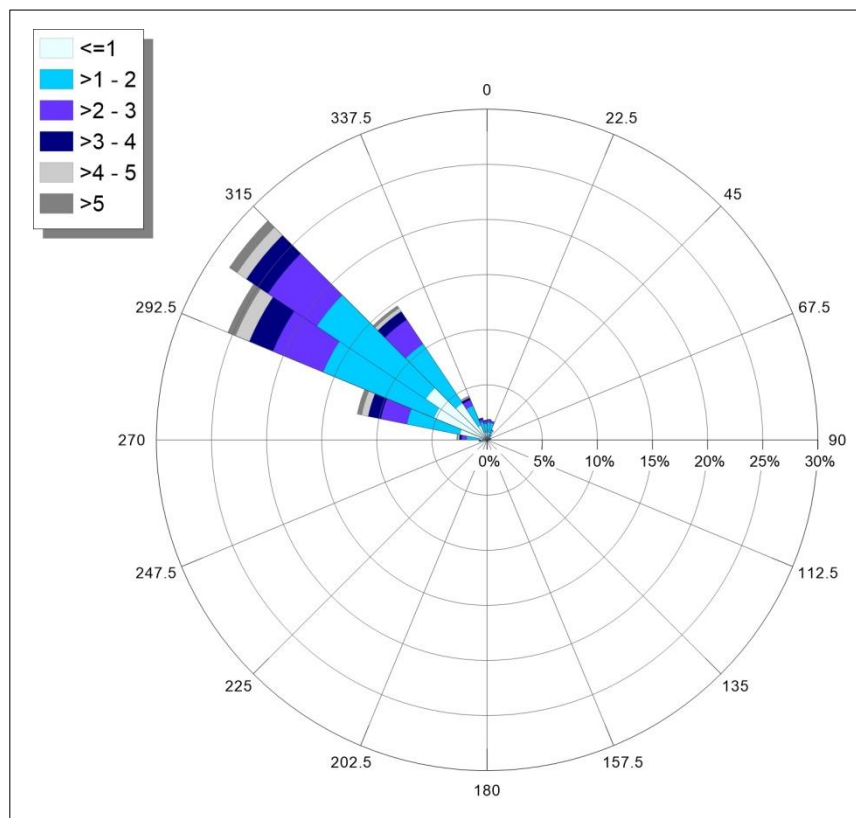


Figura 2.3 – Rosa de oleaje de los datos de la boya de Bilbao-Vizcaya

2.3 Vientos

La figura 2.4 muestra la representación polar de los datos de viento registrados en la boya exterior de Bilbao. En esta figura se observa que el régimen de vientos que actúa sobre la costa del País Vasco muestra un predominio de las componentes W y NW. Los vientos procedentes del NE tienen también una presencia relevante, pero de menor intensidad que los del cuarto cuadrante. Las máximas intensidades de viento registradas son del orden de 24 m/s. La figura 2.5 muestra la rosa de vientos de los datos registrados en la boya. Se observa cómo los vientos procedentes del WSW son lo que predominan de forma más clara en este sector de costa.

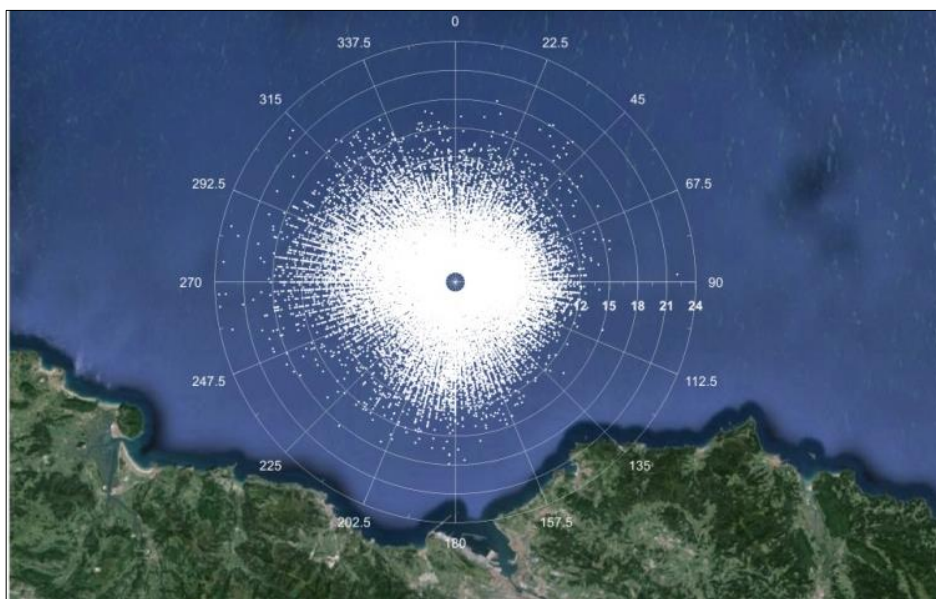


Figura 2.4 – Representación polar de los datos de viento registrados en la boya de Bilbao (valores en m/s)

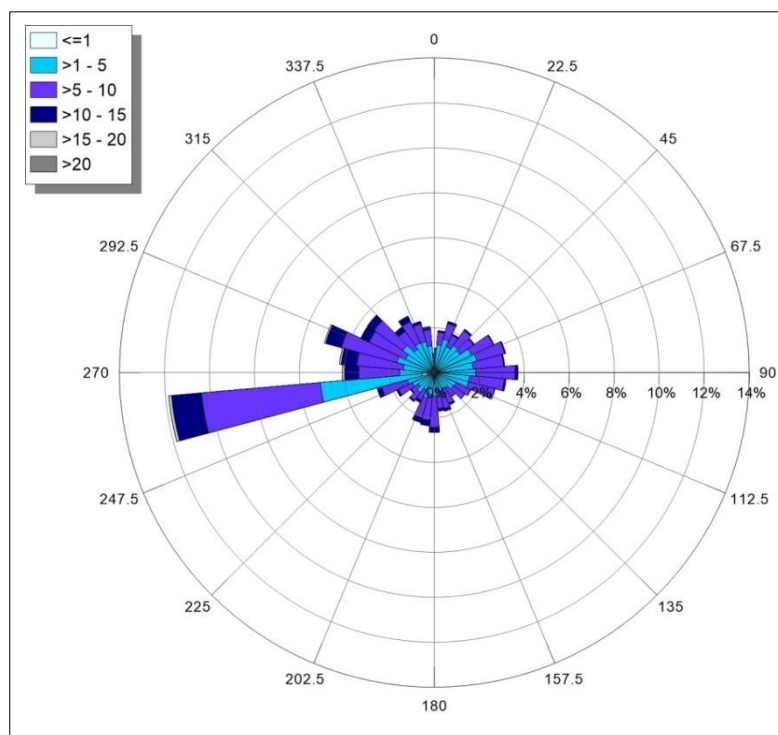


Figura 2.5 – Rosa de vientos de los datos de la boya de Bilbao-Vizcaya (valores en m/s)

2.4 Mareas

De acuerdo con el número norma de las mareas en la costa Cantábrica (relación entre las componentes diurnas principales y las semidiurnas principales), el régimen de marea astronómica para los niveles de esta costa tiene un carácter típicamente semidiurno. La componente principal M2 tiene una amplitud de 1.325 m en el Puerto de Bilbao, según se muestra en la figura 2.6 (Puertos del Estado).

Para el análisis de las estadísticas de rangos y niveles de marea en la zona de Bilbao, se ha realizado un cálculo de la curva de marea a lo largo del periodo 1993-2013; esta curva de marea ha sido calculada a partir de las componentes armónicas de marea correspondientes al mareógrafo del puerto de Bilbao.

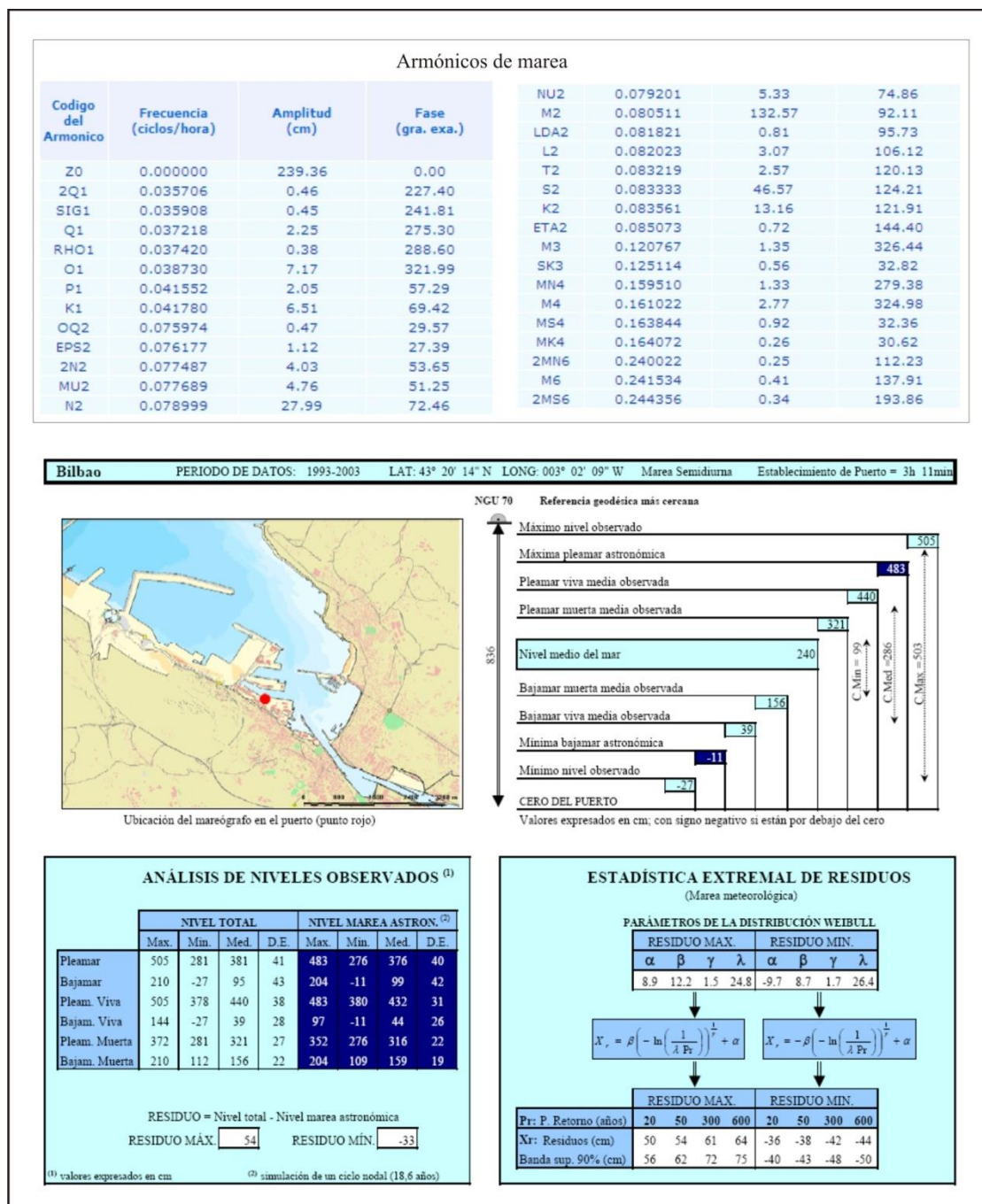


Figura 2.6 – Datos del mareógrafo del puerto de Bilbao (Puertos del Estado).

Rango de marea

La figura 2.7 presenta la distribución anual del rango de marea en el puerto de Bilbao, y la probabilidad de presentación de los diversos rangos de marea, para la serie temporal de 20 años analizada. En esta figura se aprecian los siguientes valores medios y extremos:

- Rango máximo: 4.83 m.
- Rango mínimo: 0.65 m.
- Rango medio: 2.97 m.
- Rango más probable: 3.12 m.

Estadística de niveles medios

A partir de las curvas de marea calculadas mediante las componentes armónicas, se ha realizado la estadística de niveles medios del mar instantáneos que se representa en la figura 2.8. Esta estadística establece la probabilidad de que, en un momento determinado, un nivel medio del mar dado no resulte sobrepasado. En esta figura se observa que los niveles medios con más frecuencia de presentación son los valores 1.60 m y 3.20 m.

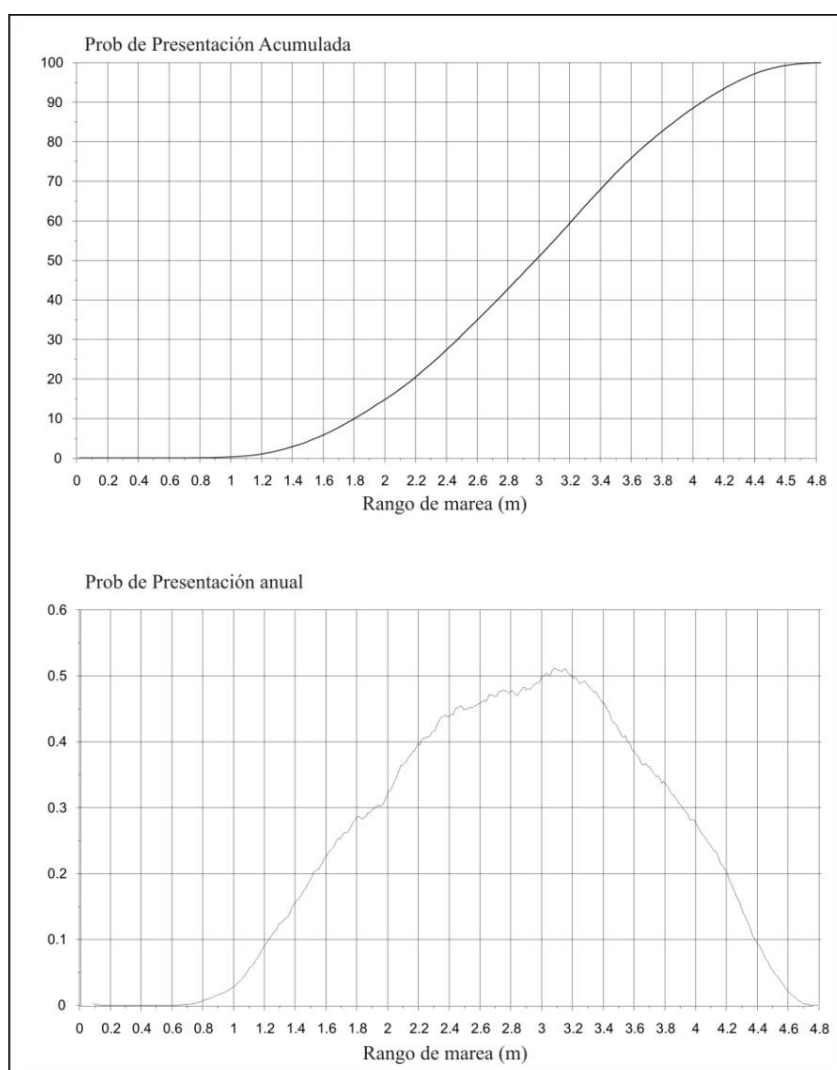


Figura 2.7 – Rango de marea en el puerto de Bilbao (Puertos del Estado).

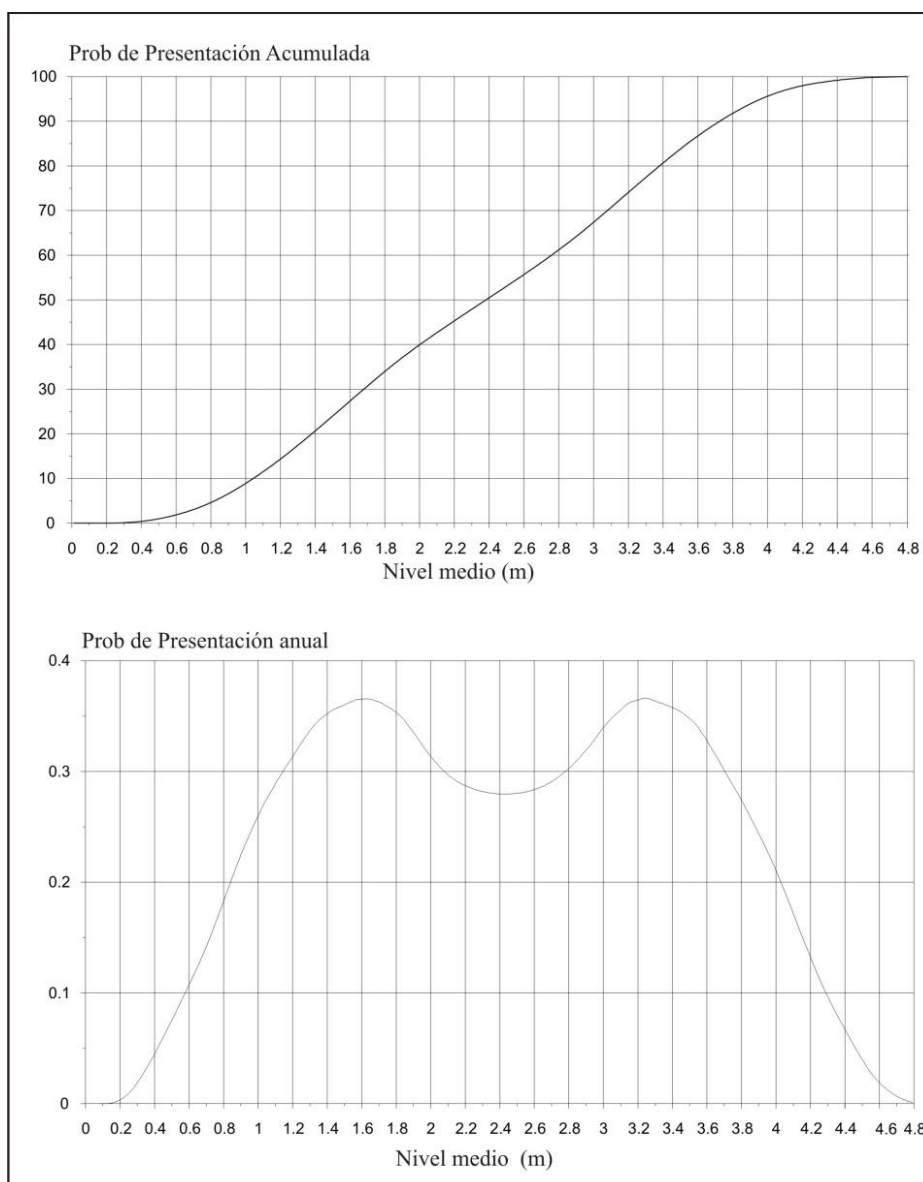


Figura 2.8 – Estadística de niveles medios. Puerto de Bilbao (Puertos del Estado).

2.5 Propagación de los oleajes exteriores

En el estudio realizado en el año 2002, por la empresa HDTMA, titulado “*Estudio de dinámica litoral en la desembocadura del río Urola (Zumaia) y propuesta de alternativas*”, se realizaron las propagaciones de los oleajes incidentes en la costa, teniendo en cuenta para ello la gama de direcciones y períodos más característicos obtenidos en el apartado de estudio de oleaje. Utilizando las propagaciones de oleaje exterior hasta la zona de estudio y el clima marítimo direccional exterior, se determinó el clima marítimo local frente a la playa de Santiago.

Metodología

El cálculo de la propagación del oleaje se ha realizado mediante el modelo matemático MIKE21-NSW, cuyas características fundamentales son las que se describen a continuación.

- El modelo propaga un espectro de oleaje irregular y direccional.
- Las propagaciones incluyen la refracción, shoaling, rozamiento y rotura.
- La propagación se realiza sobre una malla rectangular.
- Los datos de entrada al modelo son:
 - Altura significativa del oleaje (H_s).
 - Periodo medio (T_m).
 - Dirección media del oleaje (MWD).
 - Desviación máxima del espectro direccional con respecto a la dirección media (DWD).
 - Coeficiente de *spreading* (S) del oleaje.
- El modelo proporciona los valores de los cuatro primeros parámetros en toda la zona modelizada.
- El modelo permite la inclusión de generación de oleaje por acción del viento.

Las ecuaciones básicas en el modelo se derivan de la ecuación de la conservación de la densidad espectral del oleaje. La parametrización de esta ecuación en el dominio de las frecuencias se realiza introduciendo el momento de orden cero y uno del espectro como variables dependientes. Esto nos lleva a las ecuaciones diferenciales siguientes:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(C_{gx}M_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}M_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}M_0)}{\partial \theta} &= T_0 \\ \frac{\partial(C_{gx}M_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}M_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}M_1)}{\partial \theta} &= T_1 \\ \frac{\partial(C_{gx}M_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}M_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}M_0)}{\partial \theta} &= T_0 \end{aligned}$$

Donde:

- $m_0(x,y,\theta)$ Momento de orden cero del espectro.
- $m_1(x,y,\theta)$ Momento de orden uno del espectro.
- C_{gx} y C_{gy} Componentes en la dirección x e y de la velocidad de grupo

- c_θ Velocidad de propagación representando el cambio de acción en la dirección θ
- x e y Coordenadas cartesianas.
- θ Dirección de propagación de la ola.
- T_0 y T_1 Términos fuente

El momento $m_n(\theta)$ se define como:

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

donde ω es la frecuencia absoluta y A es la densidad espectral del oleaje. La velocidad de propagación c_{gx} , c_{gy} y c_θ se ha obtenido de la teoría de la onda lineal. La otra parte de las ecuaciones básicas tienen en cuenta los efectos de la refracción y el *shoaling*. Los términos fuente T_0 y T_1 tienen en cuenta el efecto de generación por vientos locales y la disipación de energía, debido a fricción con el fondo y rotura de oleaje. Se incluyen también los efectos de las corrientes sobre estos fenómenos.

Aunque este modelo no considera la difracción, el hecho de considerar una distribución direccional del oleaje hace que, en cierta medida, los resultados del modelo puedan asimilarse a otro que considera la difracción pero no considera oleaje direccional.

Propagaciones realizadas

Los oleajes propagados desde aguas profundas hasta la costa han sido los procedentes de las direcciones NW, NNW, N, NNE y NE. Para cada una de estas direcciones se han propagado oleajes con periodo de pico de 4, 10 y 16 s, de forma que se obtengan resultados válidos para las alturas de ola incidentes más relevantes (ver figura 3.5).

En la figura 3.13 del mencionado Informe, se muestran las tablas de coeficiente de altura de ola y dirección de incidencia obtenidas en un punto situado frente a Zumaia, a una profundidad de 20 m.

Tp (sg)	Dirección inicial de incidencia							
	N	NNE	NE	ENE	W	WNW	NW	NNW
4	359	23	44	60	280	286	315	339
10	359	18	36	52	285	297	322	341
16	359	12	23	42	305	316	335	348

Dirección final de incidencia

Tp (sg)	Dirección inicial de incidencia							
	N	NNE	NE	ENE	W	WNW	NW	NNW
4	1	1	0,993	0,85	0,6	1	1	1
10	0,911	0,896	0,852	0,78	0,55	0,819	0,862	0,909
16	0,916	0,89	0,812	0,71	0,43	0,741	0,816	0,892

Kh final de incidencia

2.6 Clima marítimo frente a la zona de estudio

Utilizando las propagaciones de oleaje exterior hasta la zona de estudio y el clima marítimo direccional exterior, se ha determinado el clima marítimo local frente a Zumaia.

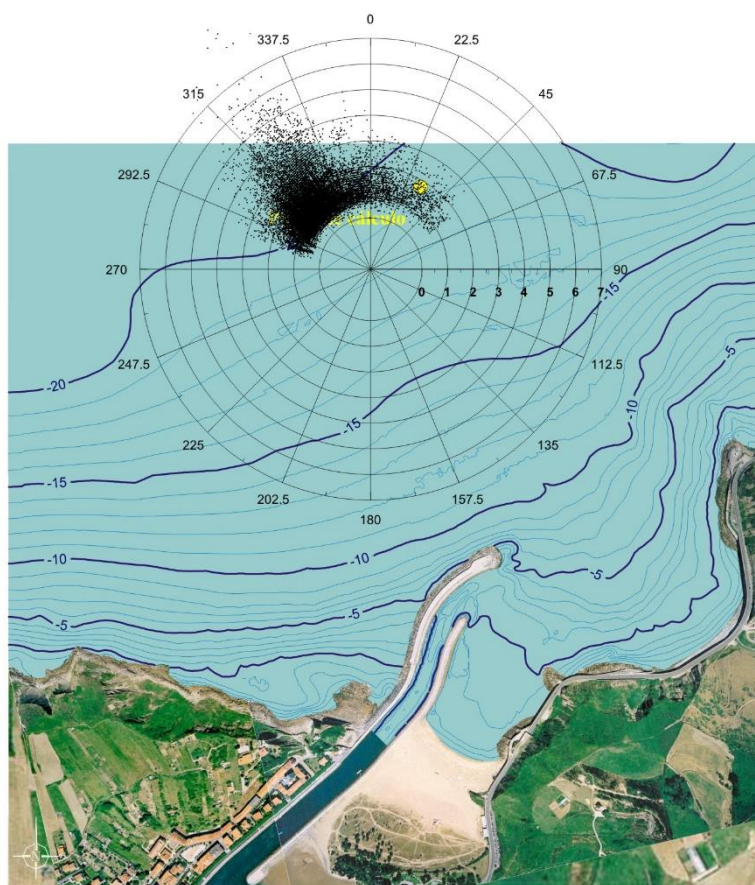
Para efectuar la propagación del clima exterior hasta la costa, cada uno de los que componen el régimen direccional exterior, se propaga teniendo en cuenta su periodo y su dirección inicial de incidencia. Con estos parámetros se asigna, por interpolación entre los oleajes propagados, un valor del coeficiente de altura de ola (K_h) y un ángulo final de incidencia hasta el punto deseado.

Para las direcciones de oleaje y periodos no incluidos en la propagación de oleaje, los coeficientes y ángulos finales de propagación se han calculado mediante interpolación lineal con los valores disponibles.

Con esta metodología, el resultado es la mejor aproximación posible a un régimen direccional del oleaje exterior en el punto deseado.

La figura 2.9, figura 3.15, del Informe mencionado, muestra la representación polar de los oleajes exteriores propagados hasta el punto de control.

La figura 2.10, figura 3.14, del Informe mencionado, presenta la rosa de oleaje propagada hasta el frente de Zumaia.



Régimen exterior propagado hasta el frente de Zumaia y representación polar de los oleajes locales.

Figura 2.9

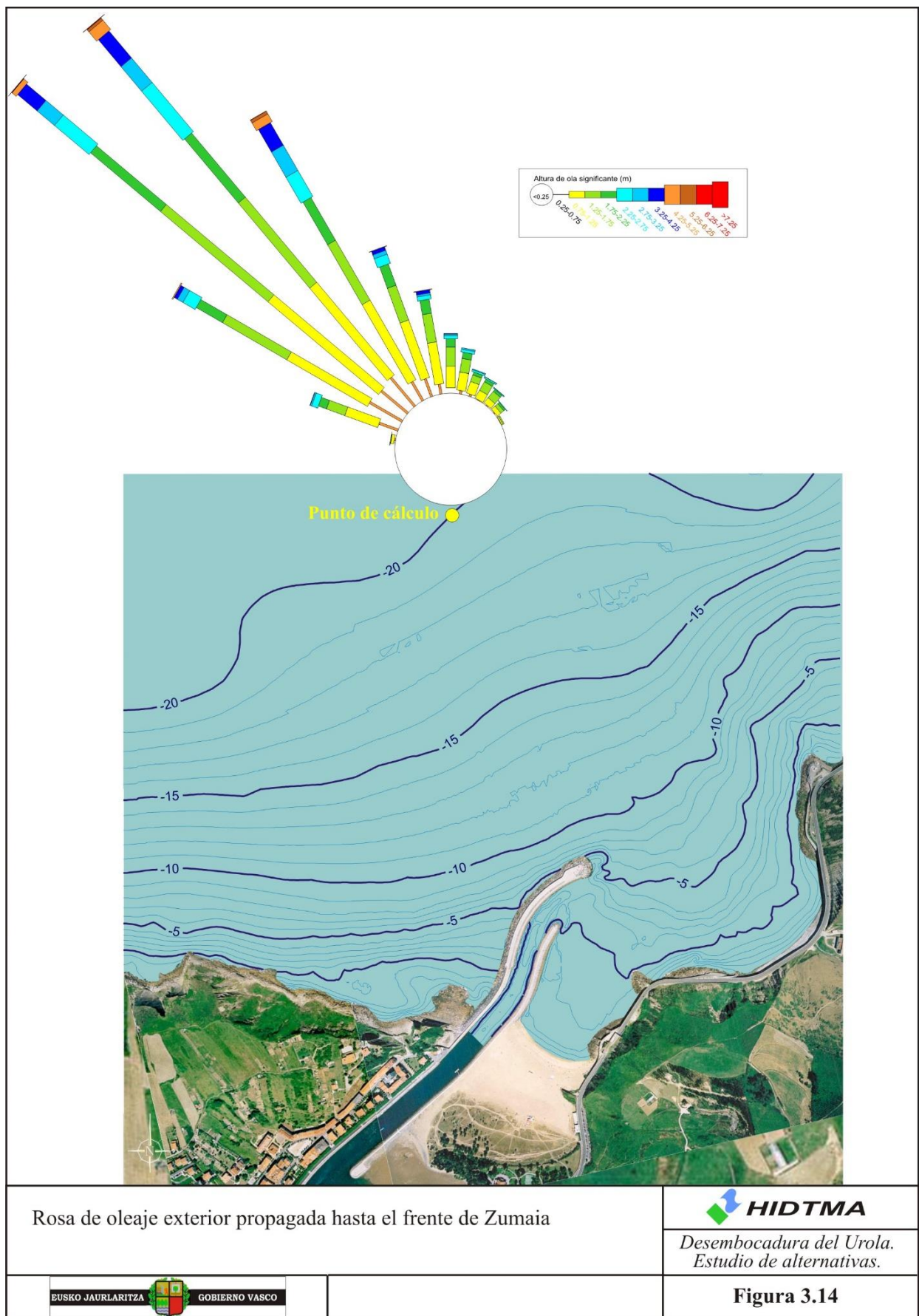


Figura 2.10

2.7 Variaciones del nivel medio del mar

Se ha analizado la posibilidad de que las variaciones del nivel medio del mar estén teniendo cierta influencia sobre el estado de la playa. Como datos de partida se han utilizado los proporcionados por el Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), que desde 1993 recoge y publica datos mundiales sobre la modificación del nivel medio del mar. Los datos aportados a este servicio por el Programa de Clima Marítimo de Puertos del Estado se presentan en la figura 2.11. Estos datos proceden de los mareógrafos del Puerto de Bilbao y del Puerto de Pasajes. Los datos cubren el periodo 1992-2013 (Bilbao) y 1948-1964 (Pasajes). En esta figura se incluyen gráficas con los valores de la media mensual del nivel medio, la media anual y la media móvil mensual.

En el mareógrafo de Bilbao se ha producido un ligero incremento del nivel medio del mar en el periodo 1992-2013, de aproximadamente 50 mm, con una tasa media de 2.5 mm/año. Esta tendencia parece coincidir con los datos registrados en otros mareógrafos de la costa norte peninsular.

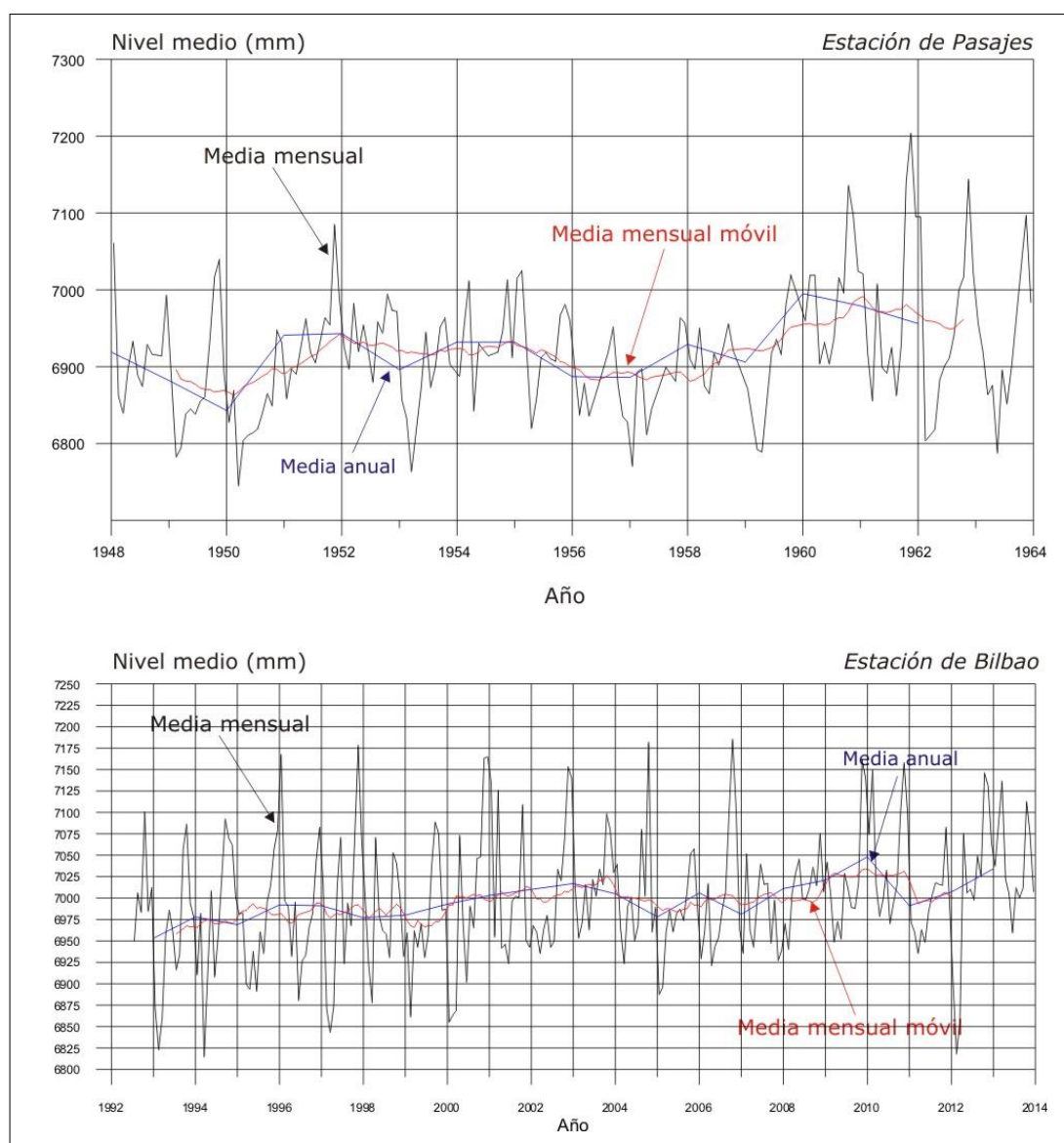


Figura 2.11 – Evolución del nivel medio del mar en los mareógrafos de Bilbao y Pasajes (Datos procedentes de Puertos del Estado y PSMSL)

Capítulo 3

Evolución de la línea de costa

La evolución de la línea de costa de las playas de Zumaia se encuentra íntimamente ligadas con la construcción de los diques de encauzamiento con el objetivo de mantener adecuadas condiciones de navegación.

Como se puede observar en la figura 3.1 la orientación de la línea de playa en el año 1.991 y en la actualidad son muy semejantes, pero no así la ubicación de la línea de playa seca, existiendo un desplazamiento hacia el norte del orden de 275 metros.

Este crecimiento indica la tendencia sedimentaria existente de acumular sedimento en la playa encajada entre el dique de encauzamiento y la costa de levante.

Ante la tendencia mencionada hay que indicar que la capacidad de acumulación de sedimento de la playa encajada es limitada y en la actualidad ha llegado al límite por lo que es habitual que sea necesario realizar dragados de mantenimiento en el canal de acceso.

La dinámica litoral de la desembocadura del río Urola está determinada por diversos factores, siendo los principales los tres que se enumeran a continuación:

- La corriente vaciante del río, especialmente durante las fases de avenida.
- La acción de la carrera de marea sobre el estuario, con sus fases de circulación llenante y vaciante.
- La incidencia de los oleajes exteriores, especialmente los provenientes del cuarto cuadrante, que son los más frecuentes y energéticos.

Las obras de encauzamiento tenían como objetivo mejorar las condiciones de entrada de los barcos a la ría, tanto en lo referido a los tradicionales pesqueros como a los usuarios de la nueva instalación náutico-deportiva interior.

Las obras de mejora del acceso a la Ría de Zumaia consistieron en las siguientes actuaciones parciales:

- La prolongación de 320 m del dique exterior mediante dos alineaciones, la última de ellas curva y cerrada hacia el este.
- La prolongación de 400 m del contradique existente, siguiendo la alineación del dique exterior y dejando un canal navegable de unos 60 metros de anchura.
- Acondicionamiento de la escollera de la margen derecha del canal del río Urola.
- Dragado del canal de acceso hasta la cota de diseño de -2.50 m.

Estas nuevas obras provocaron el basculamiento de los sedimentos de las Ensenadas de Orrúa y Santiago hacia la desembocadura, de forma que la playa de Santiago ha sufrido un notable avance hacia el exterior. Además, las nuevas obras han propiciado el que la capacidad sedimentaria del sistema aumentara, de forma que se ha producido una ganancia neta de sedimento en el mismo. Adicionalmente, durante la ejecución del dragado del canal, del cual se dragaron 153.300 m³, se depositaron 75.300 m³ en la playa de Santiago, vertidos en la cara exterior del dique de encauzamiento derecho, de los cuales,

28.900 m³ fueron posteriormente dragados y vertidos en altamar, permaneciendo desde entonces en la playa los 46.300 m³ restantes.



Título:

Fotografías aéreas de la evolución de la costa. Zumaia.

HIDTMA

Estudio de Dinámica Litoral.
Zumaia

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

Estudio de Dinámica Litoral de los Puertos del País Vasco

Figura 3.1

Capítulo 4

Dinámica sedimentaria y capacidad de transporte litoral

El objeto de la metodología que a continuación se expone es determinar las características bidimensionales del transporte litoral en la desembocadura del río Urola.

De todos estos factores, la interacción entre las corrientes de marea diarias y el oleaje medio incidente es el elemento que regula el movimiento y la estabilidad a largo plazo de los sedimentos de la desembocadura.

4.1 Introducción

Para describir la dinámica sedimentaria es necesario describir, en primer lugar, el sistema fluvial del Urola, el cual condiciona, de forma determinante, los procesos hidrodinámicos y sedimentarios en la desembocadura.

Como segundo factor de interés se analiza la composición de la energía del oleaje exterior incidente en Zumaia, la cual condiciona los procesos sedimentarios que tienen lugar en las Ensenadas de Santiago y Orrúa.

El capítulo se centra finalmente en el cálculo de la tasa de transporte litoral que tiene lugar en la desembocadura del Urola. Para ello se desarrolla un modelo bidimensional, el cual aporta una descripción cuantitativa precisa del fenómeno de transporte sedimentario, incluyendo el oleaje exterior y las corrientes de marea.

4.2 Régimen hidráulico y de aportaciones sedimentarias del río Urola

En el río Urola el caudal fluvial es muy variable, con un prolongado periodo de estiaje. El oleaje exterior no tiene prácticamente ninguna influencia aguas arriba de la entrada del puerto deportivo, debido a la protección por espigones de la bocana de la ría y la conformación del tramo del río con marcados meandros.

Según indica los registros tomados en Aizarnazabal, la aportación media de la cuenca es de 276,8 hm³/año, equivalente a un caudal medio de 8.7 m³/s. La variación interanual de aportaciones es muy alta, con escalas de valores de 8 a 1.

La distribución de caudales en el río a lo largo del año es similar al resto de las cuencas, con elevados caudales durante el otoño y comienzo del invierno, un descenso durante el resto del invierno, para presentarse, normalmente, el mes de abril con otra subida de caudales. El estiaje se produce en verano, siendo más acusado en los años que se alarga hasta el mes de octubre, alcanzándose valores de 0.7 m³/s.

Por lo que se refiere al cálculo de las aportaciones sólidas de un río a la costa, en ausencia de datos, es extremadamente impreciso cuando se basa en formulaciones generales. Por ello, realizando una comparación de batimetrías de los años 1886, 1896 y 1982 se ha comprobado (HIDTMA, 1992) la existencia de un relleno gradual de la ensenada durante estos años, valorado en 1.700.000 m³ de arena procedente de la cuenca del río. Esto supone una tasa media anual de 18.000 m³ cuyas oscilaciones anuales no se conocen por ser la media de un periodo muy largo de tiempo. No se puede determinar la

precisión de este cálculo, dado que se ha realizado mediante comparación de planos muy antiguos, que representan batimetrías tomadas mediante métodos rudimentarios. En cualquier caso, este volumen medio correspondería a la parte de material que, una vez lavado por la acción del mar, permanece depositado en la ensenada.

Por su parte, la Fundación Leonardo Torres Quevedo, utilizando formulaciones teóricas, proporciona la cifra de unos 10.000 m³/año como el volumen de material sedimentario grueso aportado por la cuenca al mar.

4.3. Energía del oleaje incidente

Como base para la caracterización de los procesos sedimentarios en la zona exterior de la desembocadura, se ha elaborado un análisis de la energía del oleaje incidente en la costa exterior de Zumaia.

Para ello, se han tomado los datos del clima marítimo propagado hasta el frente de Zumaia y se ha calculado la componente energética media de dicho clima marítimo medio anual.

La energía total de un oleaje es la suma de su energía cinética y de su energía potencial. La energía cinética es la parte del total de la energía debida a la velocidad de las partículas asociada con el movimiento orbital. La energía cinética por unidad de longitud en un frente de onda, definida según la teoría lineal, es la siguiente:

$$\bar{E}_k = \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} \rho \frac{u^2 + w^2}{2} dz dx$$

la cual, una vez integrada, resulta en la expresión:

$$\bar{E}_k = \frac{1}{16} \rho g H^2 L$$

Por su parte, la energía potencial es aquella parte de la energía resultante de la parte de masa del fluido que se encuentra por encima del seno de la onda. La energía potencial por unidad de longitud en el frente de onda se expresa como:

$$E_p = \int_x^{x+L} \rho g \left[\frac{(\eta + d)^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right] dx$$

expresión que, tras la integración se formula como:

$$E_p = \int_x^{x+L} \rho g \left[\frac{(\eta + d)^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right] dx$$

De acuerdo con la teoría de Airy, si la energía potencial se determina con relación al nivel medio del mar y todas las ondas se propagan en la misma dirección, las componentes de la energía cinética y potencial del oleaje son iguales, de forma que la energía total de una longitud de onda por unidad de anchura de cresta resulta ser:

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

donde los subíndices k y p indican energía cinética y potencial respectivamente. La energía media total por unidad de superficie, denominada *energía específica* o *densidad de energía*, se define como:

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

Puesto que el interés del presente capítulo se centra en la capacidad que el oleaje tiene para movilizar el sedimento, utilizaremos el método del flujo de energía P para definir la tasa potencial de transporte litoral como:

$$P = (EC_g) \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha$$

siendo (α) el ángulo del oleaje incidente con respecto a la costa, y C_g la celeridad de grupo del oleaje, de forma que:

$$P = f(H^{5/2})$$

La tasa de transporte I (peso sumergido) puede estimarse como:

$$I = KP$$

siendo K un coeficiente adimensional, de forma que,

$$I = K(EC_g) \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha$$

de forma que la tasa I resulta ser:

$$I_\ell = K \left[\frac{\rho \cdot g^{\frac{1}{2}}}{16k^{\frac{1}{2}}} \right] H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

y la tasa I convertida a volumen de transporte Q es:

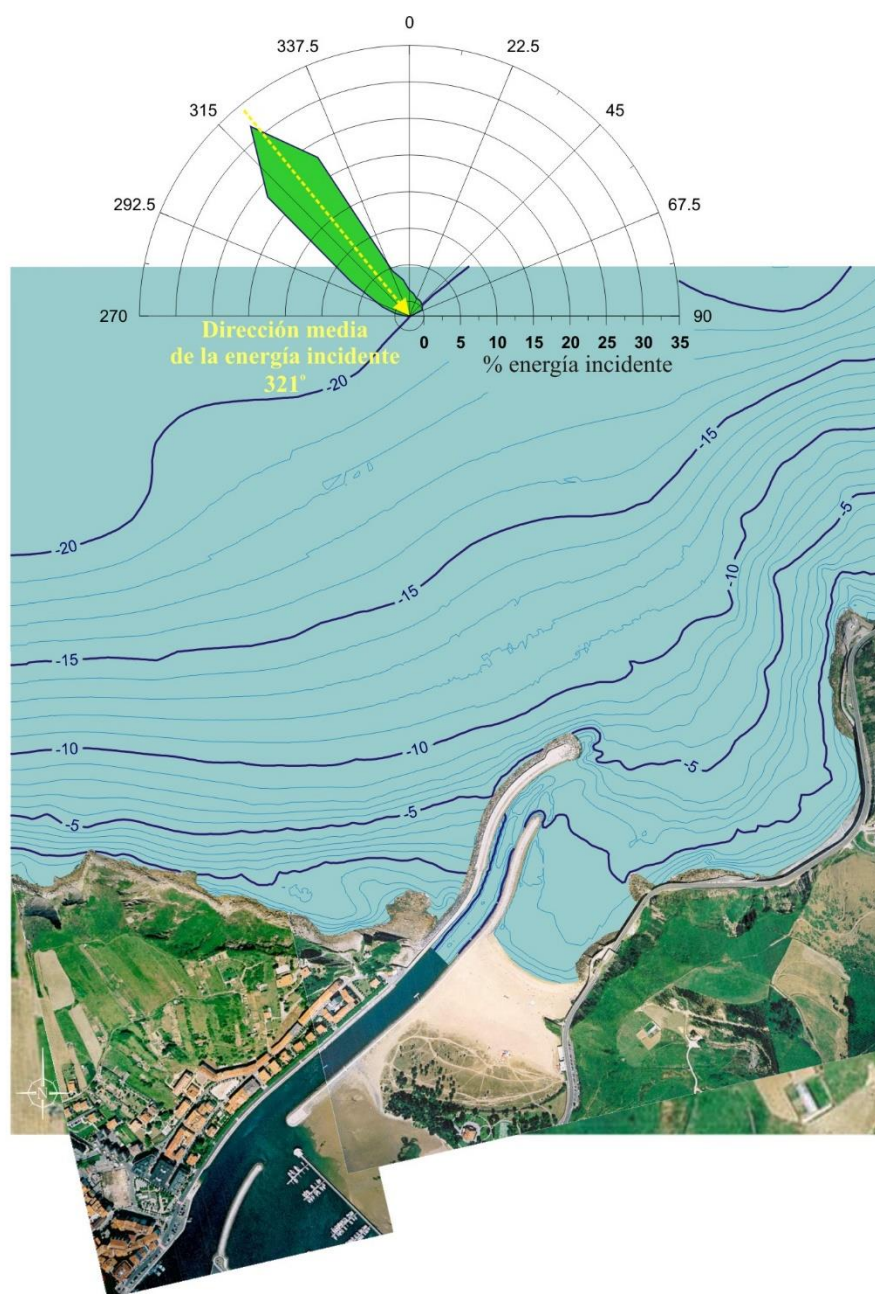
$$Q_\ell = K \left[\frac{\rho \cdot \sqrt{g}}{16k^{\frac{1}{2}} (\rho_s - \rho)(1-n)} \right] H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

4.4 Energía incidente en Zumaia

El cálculo de la energía incidente en Zumaia frente a la ensenada se muestra en la figura 4.1. En ella, la tabla muestra el cálculo del valor $H^{5/2}$ de cada uno de los oleajes incidentes, multiplicado por su probabilidad de presentación anual, siendo el resultado proporcional al flujo de energía exterior sobre la ensenada.

Además, la figura 4.1 muestra la dirección de incidencia de la componente energética media del oleaje P , que resulta ser la orientación 321° (N- 39° -W).

Por tanto, se demuestra la preponderancia de los oleajes procedentes del sector NW sobre la costa de Zumaia, razón por la cual los cálculos del transporte sedimentario se realizarán exclusivamente con oleajes procedentes de ese sector.



Cálculo de la energía media incidente en Zumaia

Figura 4.1

4.5 Modelo del estuario

4.5.1. Modelo hidrodinámico

El estudio de corrientes en la desembocadura ha partido de una modelización hidrodinámica general del estuario del Urola, cuyo objetivo es analizar y valorar la hidrodinámica global del estuario del río.

En la figura 4.2 se presenta la malla general empleada para la simulación hidrodinámica del estuario.

En la figura 4.3 se muestra un ejemplo de los resultados del modelo, en situación de marea llenante, mientras que la figura 4.4 muestra el mismo ejemplo en situación de marea vaciante.

En la figura 4.5 se representa la serie temporal de variaciones del nivel medio y de la velocidad del flujo en un punto del canal de salida, en situación de mareas vivas; por su parte, la figura 4.6 representa la misma serie temporal de niveles medios y velocidades en situación de mareas muertas. Los resultados en este punto han servido como base para la preparación del modelo sedimentario de la desembocadura.

4.5.2. Dinámica sedimentaria de la desembocadura

El objeto de la metodología que a continuación se expone es determinar las características bidimensionales del transporte litoral en la desembocadura del río Urola. La descripción bidimensional del proceso físico de transporte ha sido realizada mediante la metodología que se resume a continuación:

1. En un primer paso, se propaga el oleaje incidente de cálculo hasta la playa, incluyendo el proceso de rotura. Esta propagación se ha realizado en una zona de detalle, con valores de partida proporcionados por las propagaciones de aproximación (ver Capítulo 3).
2. A partir de la distribución de altura de ola sobre la playa, se calcula el tensor de radiación, introduciéndose éste como fuerza actuante en un modelo hidrodinámico, que calcula así las corrientes generadas por el oleaje especificado. A las corrientes generadas por el oleaje se superponen las corrientes de marea, calibradas previamente mediante un modelo hidrodinámico general del estuario del río.
3. Conociendo la altura de ola en cada punto y la corriente generada por el oleaje, unida a la corriente de marea, se calcula la tasa local de transporte para la situación estacionaria ensayada.

Para los cálculos de la incidencia del oleaje se ha empleado el modelo Mike 21-EMS, que propaga el oleaje hasta la costa incluyendo los fenómenos de refracción, difracción y rotura. El oleaje propagado es regular, con una distribución de la altura de ola tipo Rayleigh.

Por su parte, el modelo hidrodinámico Mike 21-HD ha servido para el cálculo de la corriente generada por los diversos oleajes incidentes, mientras que el cálculo del transporte litoral en cada punto se ha realizado mediante el modelo determinista Mike 21-ST.

a) Modelo de transporte en la desembocadura:

Una vez calibrado el modelo hidrodinámico general del estuario, se ha preparado un modelo el detalle de la Ensenada de Zumaia, que servirá como base para el cálculo del transporte sedimentario. La figura 4.7 muestra la malla empleada para la modelización de detalle del oleaje, las corrientes y el transporte de sedimentos. Como ya se ha indicado, la malla tiene su borde de entrada orientado en la dirección 321° (N-39°-W), resultante de la componente energética media del oleaje (ver apartado 4.3).

b) Situaciones ensayadas

Las situaciones ensayadas en el modelo (ver tabla 4) representan los siguientes estados del sistema, tanto en marea llenante como vaciante:

- Tres alturas de ola exteriores frente a Zumaia, con valores característicos de $H=0$, 1.5 y 3.0 m. La altura de ola $H_s=1.50$ m (rango $1.25 < H < 1.75$ m) representa un 12% de la energía anual total incidente frente a Zumaia, mientras que la altura de ola $H_s=3.00$ m (rango $2.75 < H < 3.25$ m) representa un 13% de dicho valor. Ambas alturas de ola proporcionan una buena representación de los procesos sedimentarios básicos que tienen lugar en la ensenada.
- Tres niveles medios diferentes: 1.40, 2.40 y 3.40 m. El nivel 1.40 m y el nivel 3.40 m están en el rango de niveles con mayor probabilidad de presentación en Zumaia, mientras que el nivel 2.40 m representa un nivel medio de marea.

4.5.3. Resultados

Para un detallado análisis de los resultados, se han extraído los valores de la tasa de transporte de sedimentos integrada en diversas secciones del tramo final del canal de acceso. Las figuras 4.8 a 4.16 muestran el detalle de los resultados obtenidos en la situación actual, junto con los resultados derivados de la construcción de la alternativa de obras propuesta en el capítulo siguiente.

Los aspectos fundamentales de la dinámica sedimentaria de la desembocadura son los que se resumen a continuación:

- En la situación sin oleaje exterior (figuras 4.8 a 4.10), la tasa de transporte durante la marea vaciante se reduce rápidamente al sobrepasar el encauzamiento derecho, de forma que se produce el depósito del material aportado por el río en la desembocadura. El fenómeno es más destacado cuando el nivel del mar se encuentra a mitad de su recorrido aproximadamente.
- Durante la marea vaciante, cuando hay oleaje (figuras 4.11 a 4.13), la tasa de transporte se reduce en la zona de menor calado (perfiles 10 a 25), especialmente durante la fase de marea media, volviendo a aumentar rápidamente hacia el exterior.
- Cuando la acción del oleaje incidente se combina con fases vaciantes de marea alta y media, se produce una corriente de retorno desde la playa de Santiago hacia la bocana, que es la que colabora en la formación de la barra sumergida existente frente al morro del encauzamiento derecho.
- Durante la fase de marea llenante (figuras 4.14 a 4.16) las corrientes tienden a transportar la barra de la desembocadura hacia el interior del canal, colaborando las corrientes generadas por el oleaje a trasladar también parte del sedimento de la barra hacia la Ensenada de Santiago.

En resumen, la barra exterior está sometida a un movimiento cíclico, alimentada por el material que proviene del estuario y por las acumulaciones formadas en la playa de Santiago, desplazándose hacia el exterior durante las fases de marea vaciante, y hacia el interior del canal y hacia la playa durante las fases de marea llenante. (Figura 4.17).

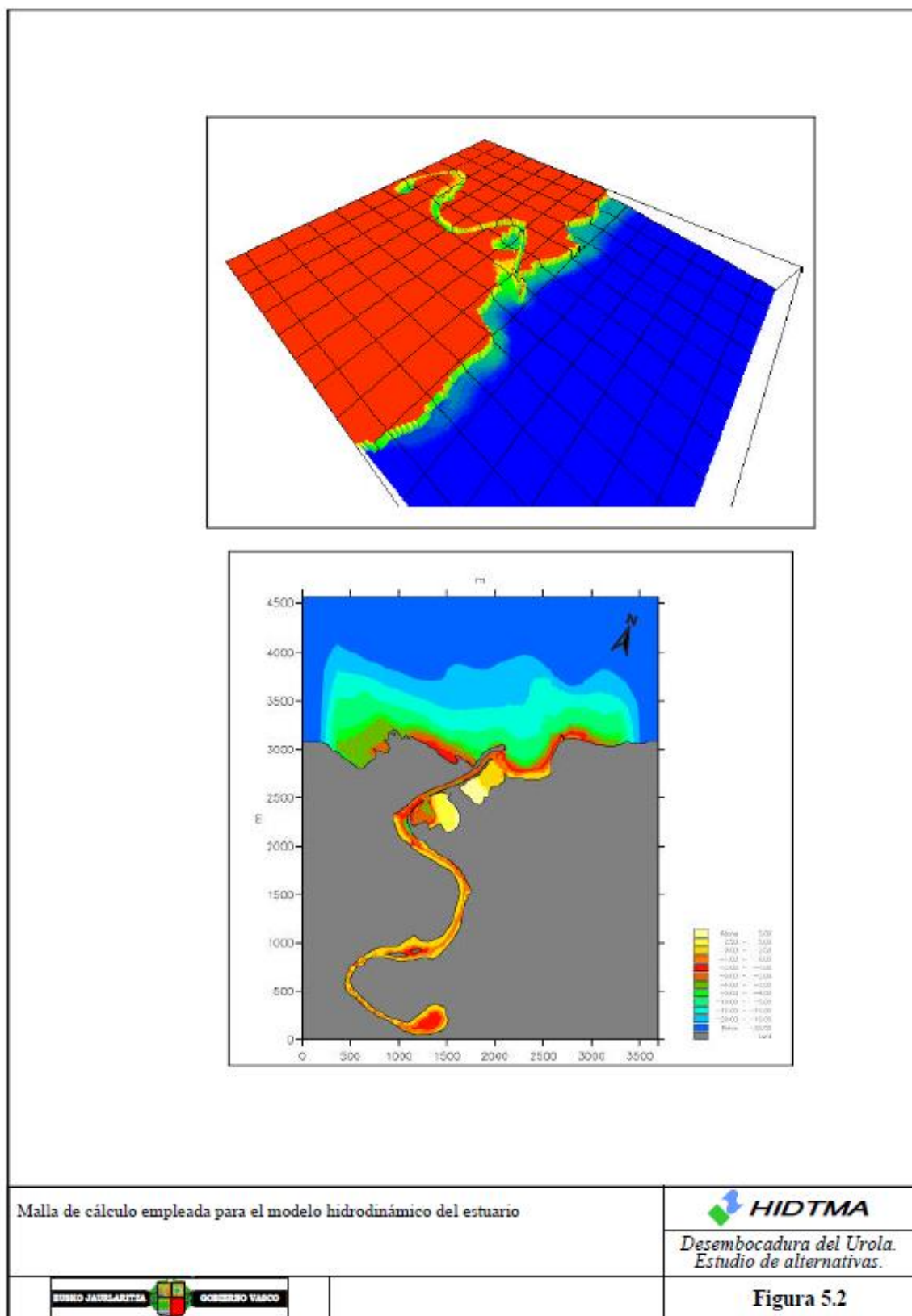


Figura 4.2.

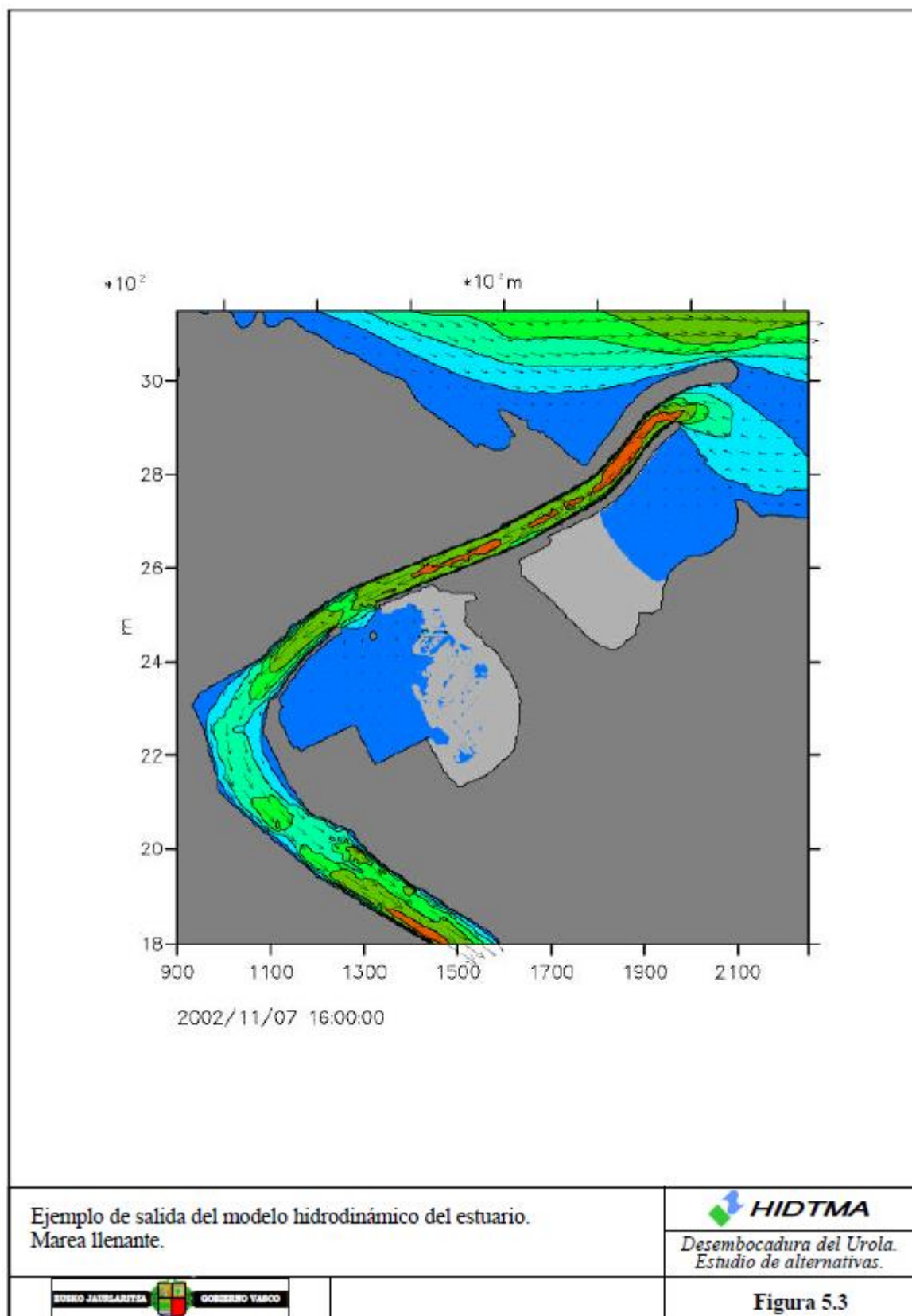


Figura 4.3.

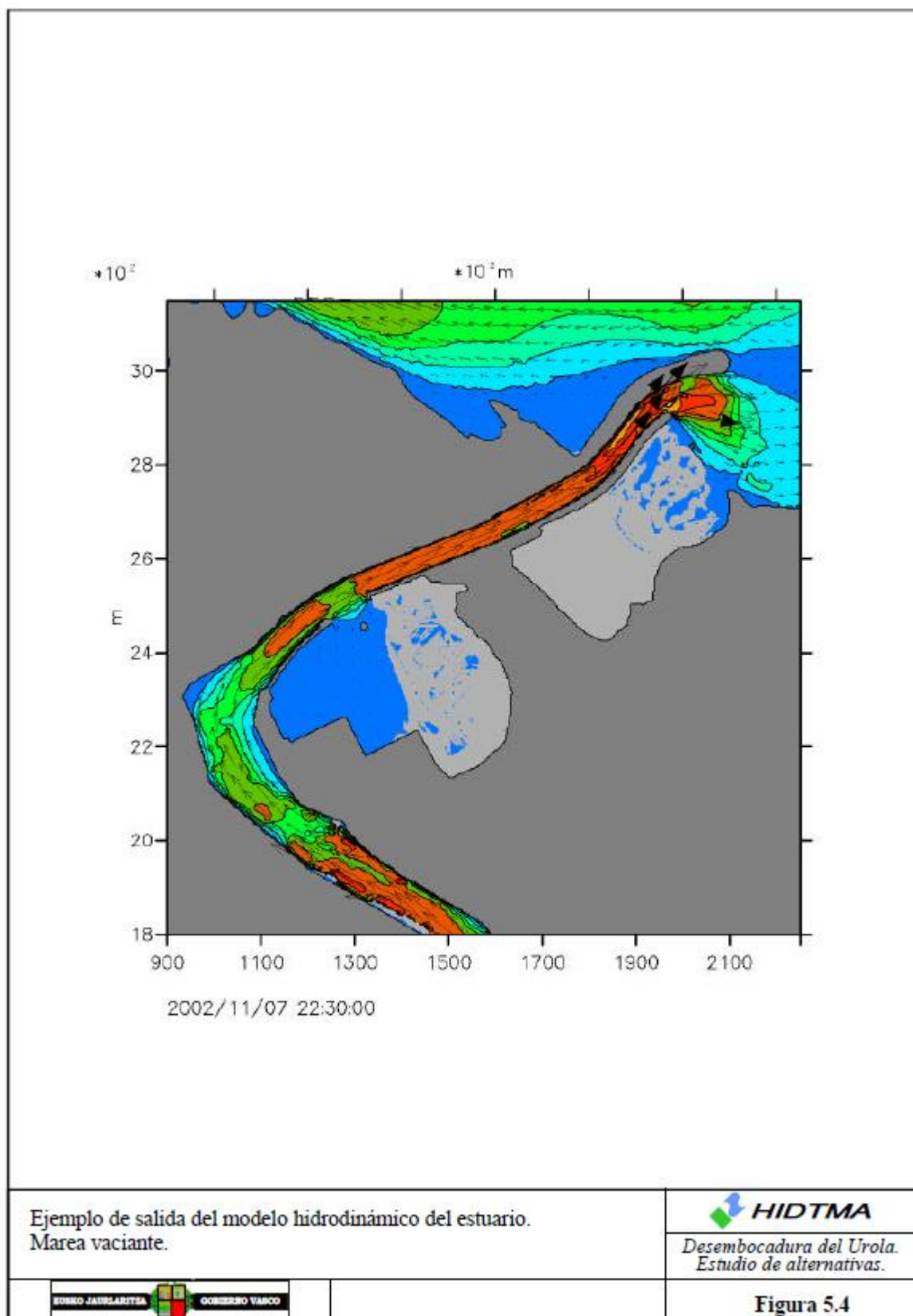


Figura 4.4

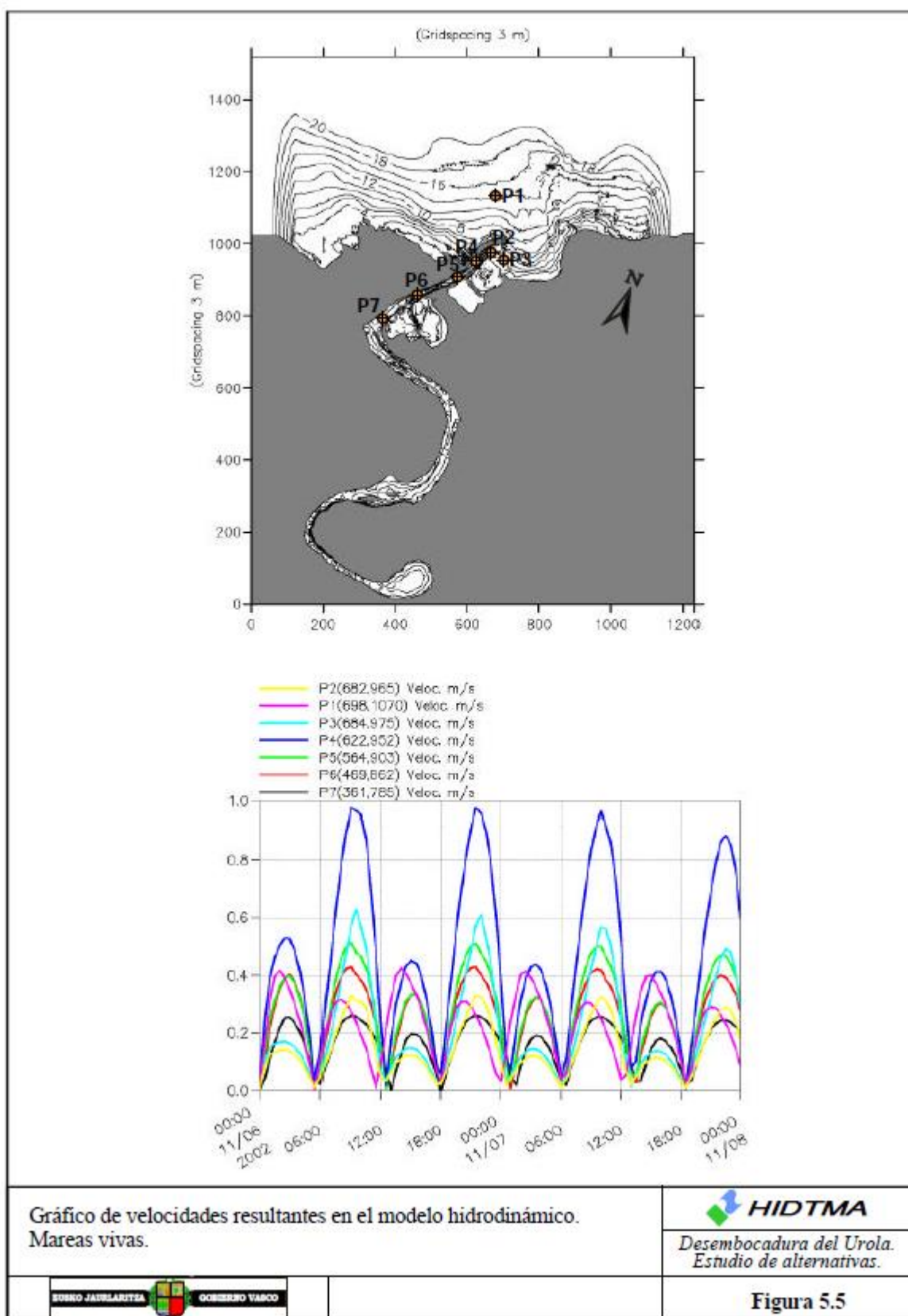


Figura 4.5

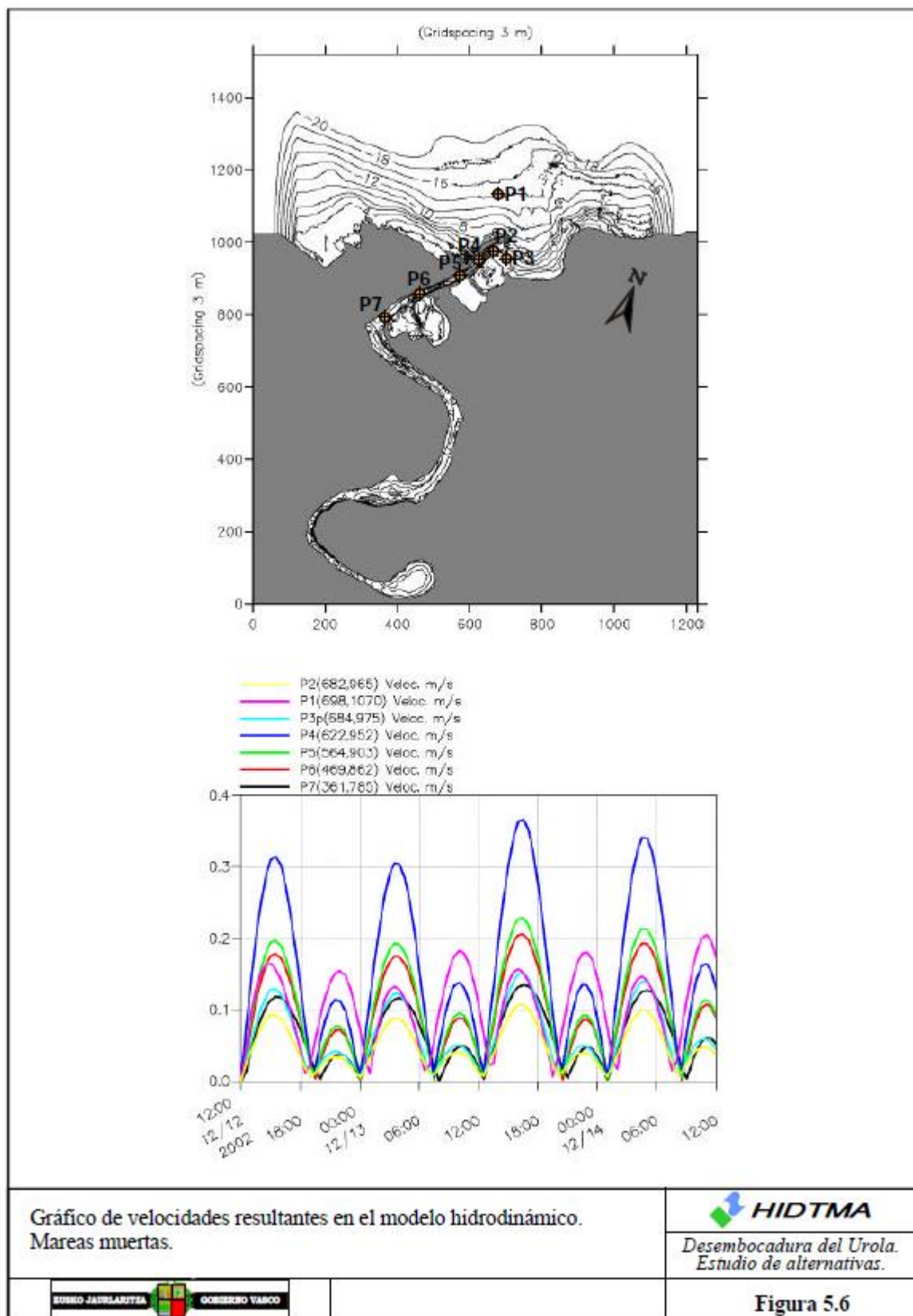


Figura 4.6

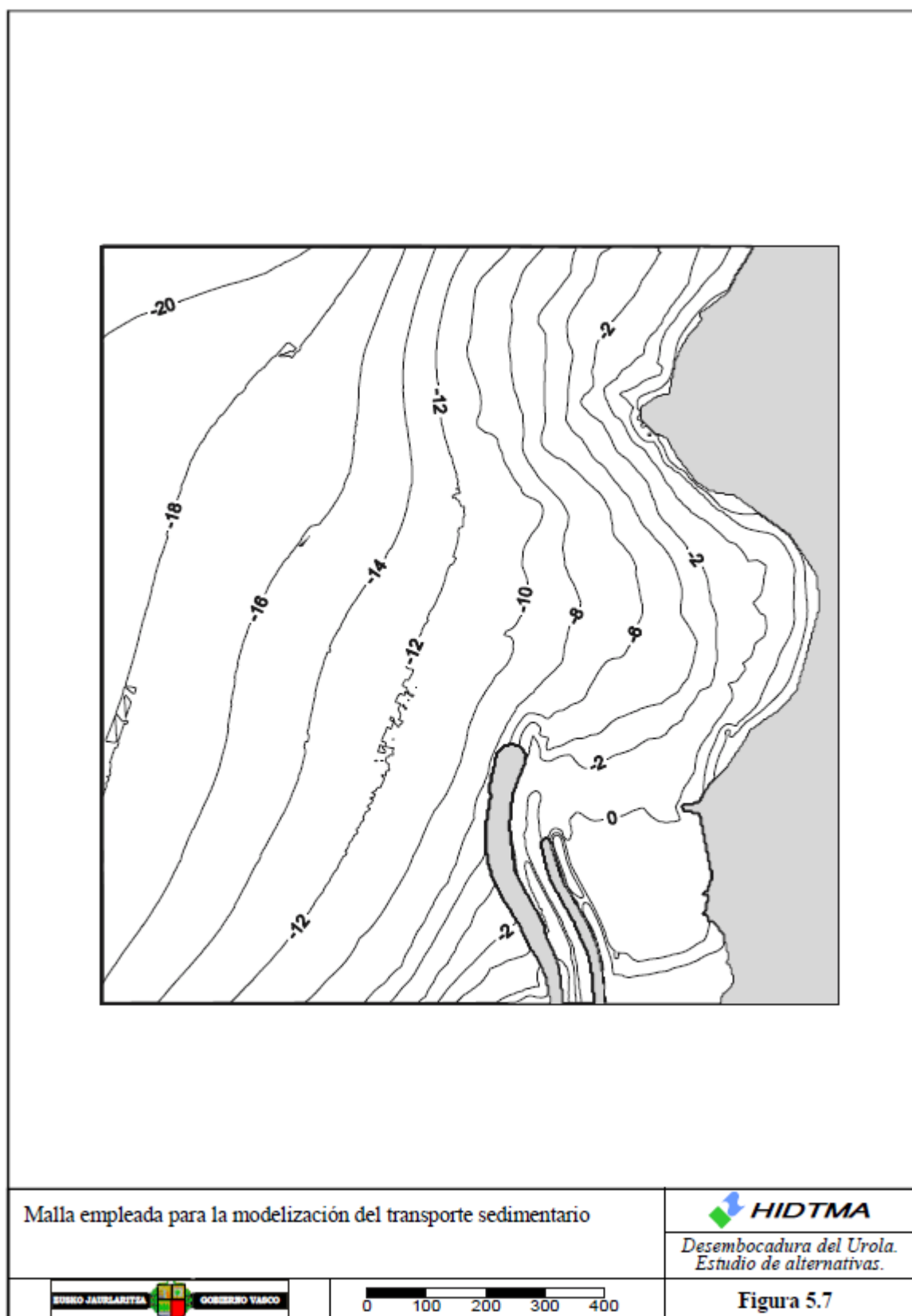


Figura 4.7

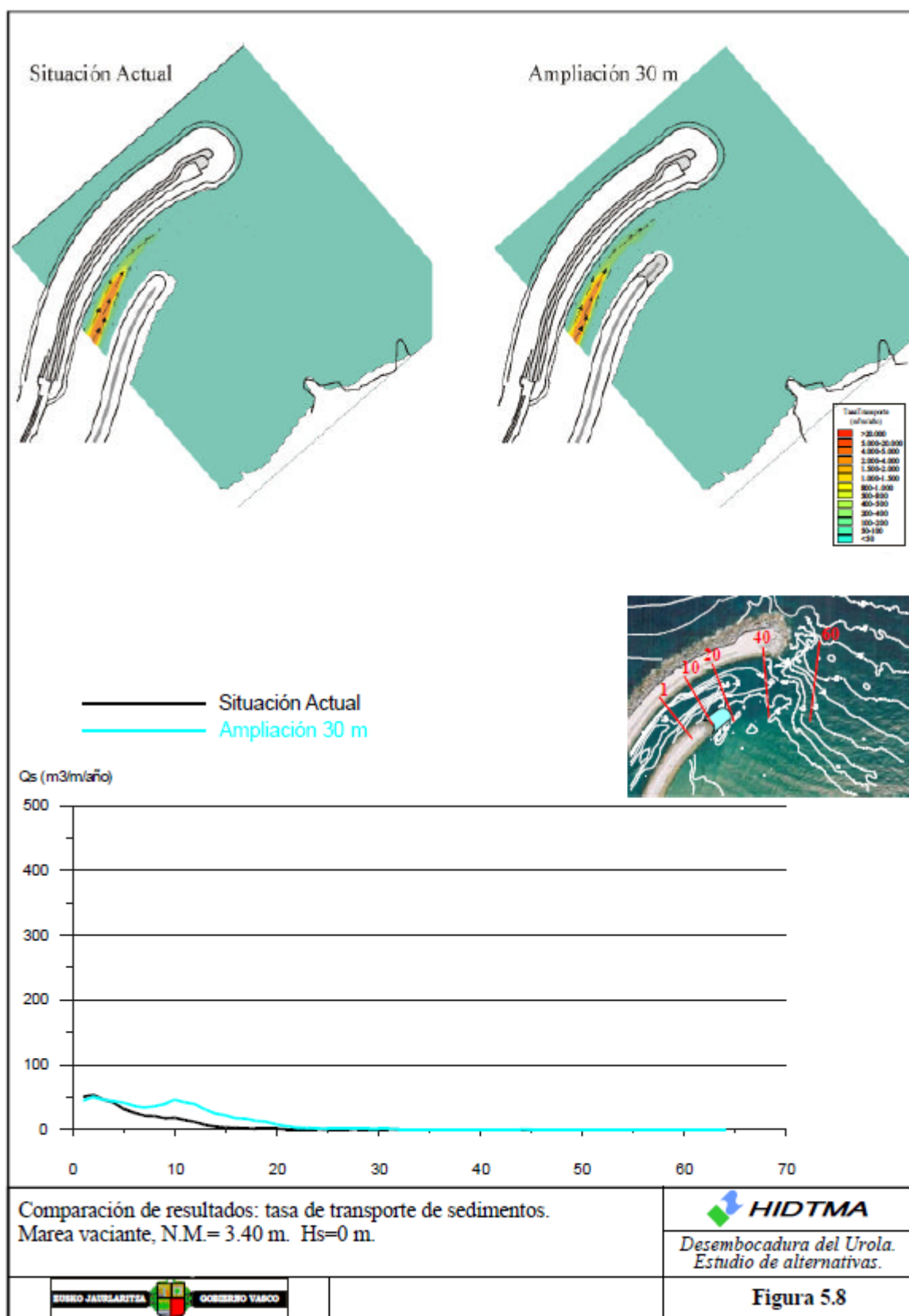


Figura 4.8

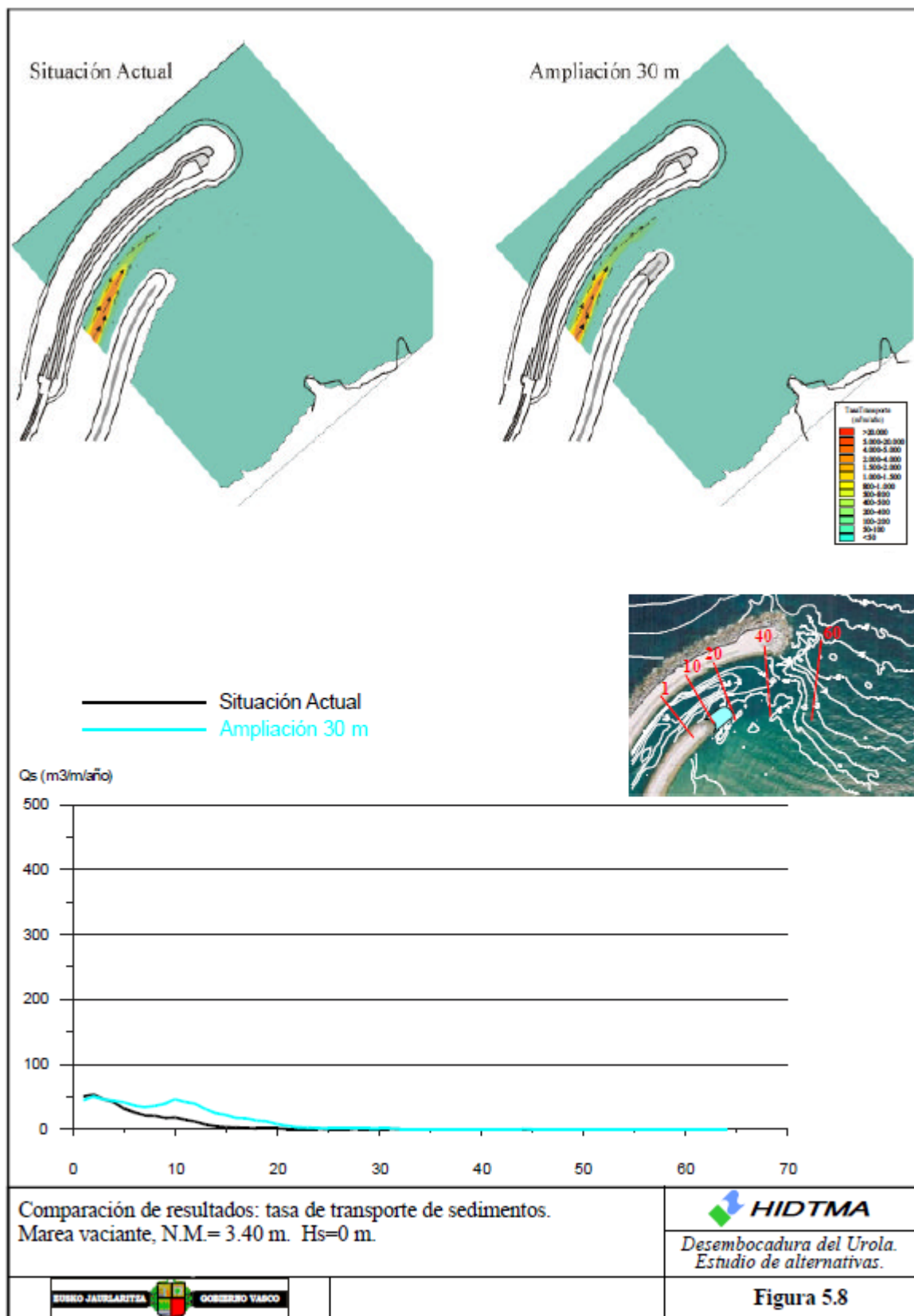


Figura 4.9

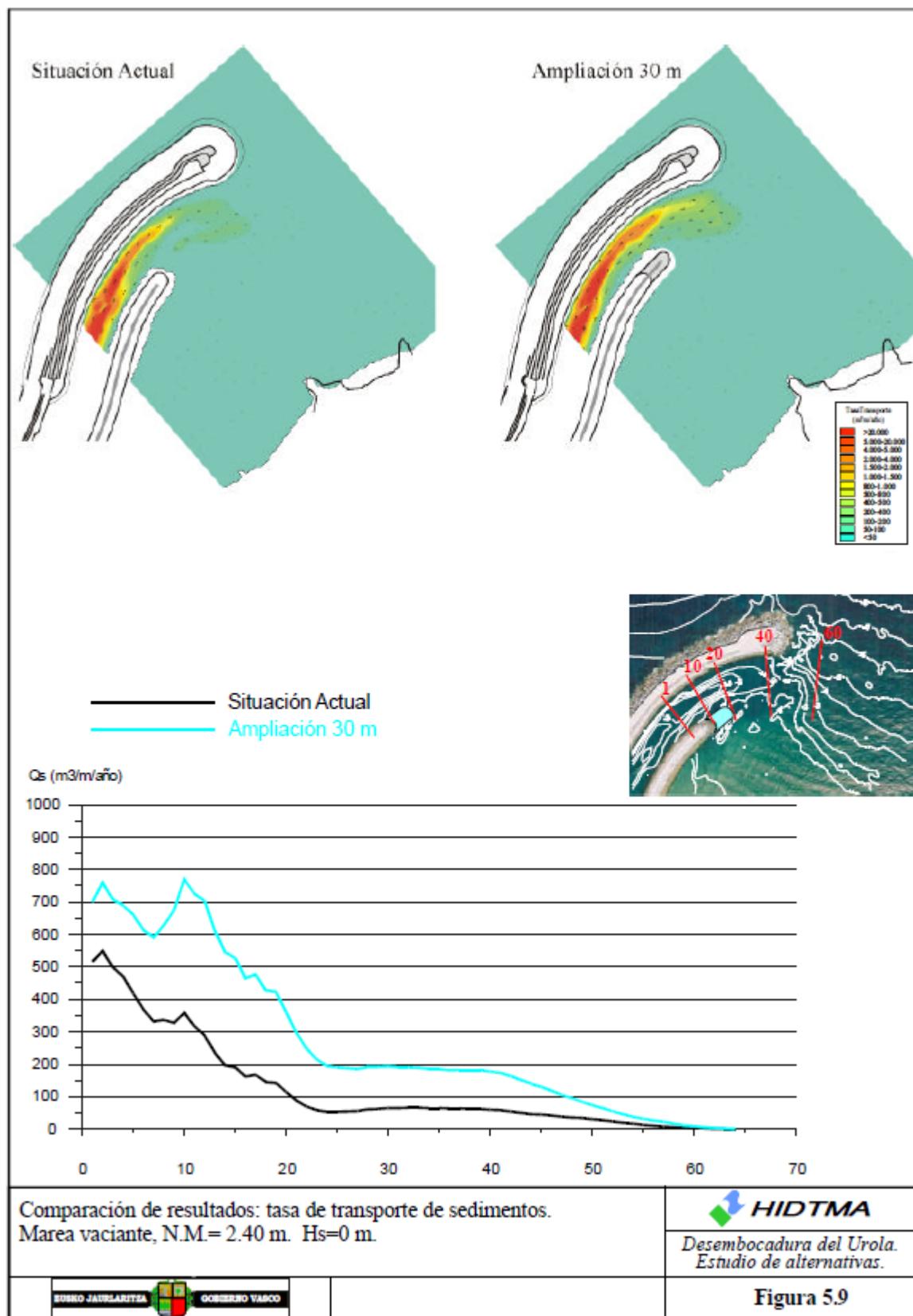


Figura 4.10

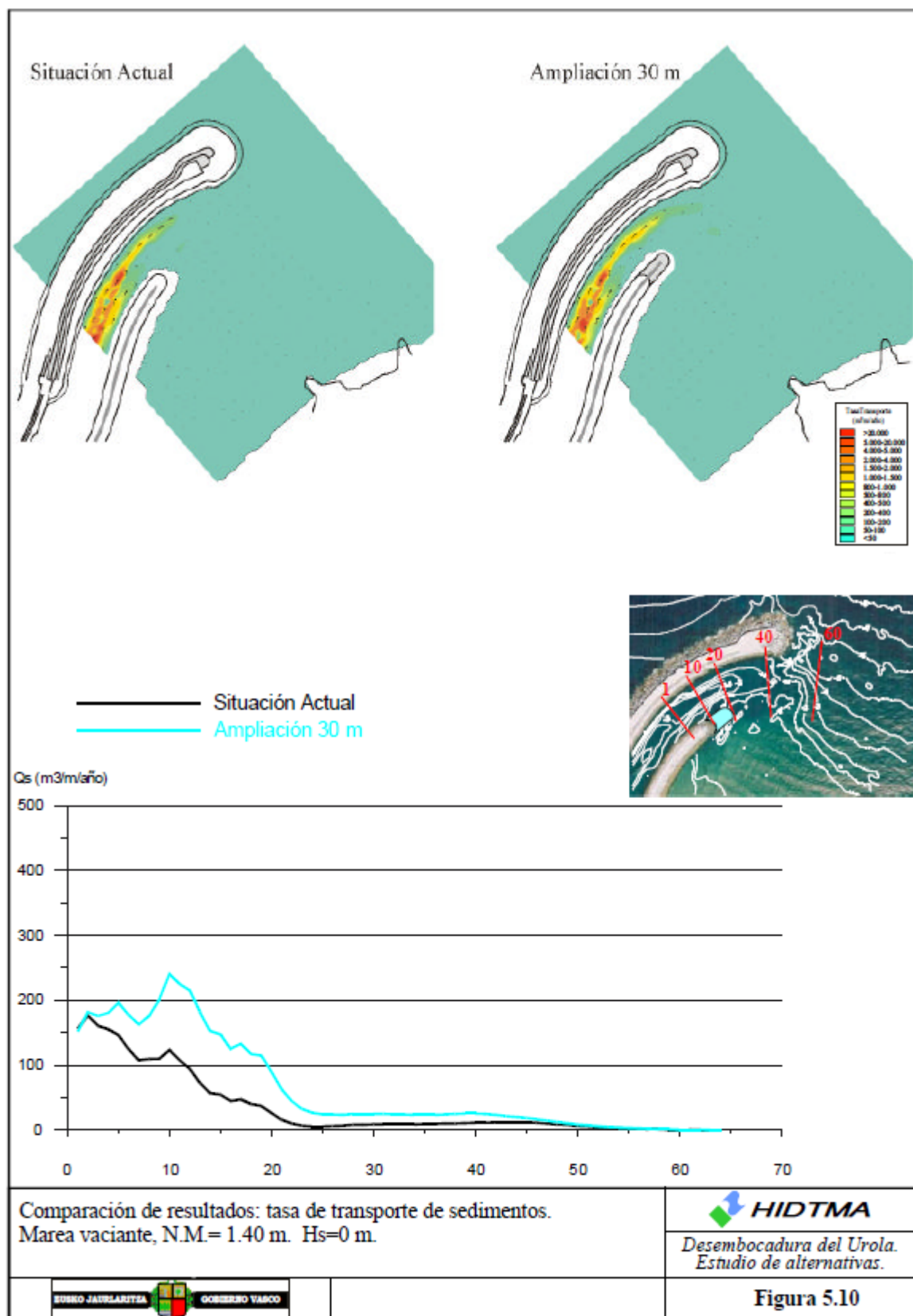


Figura 4.11

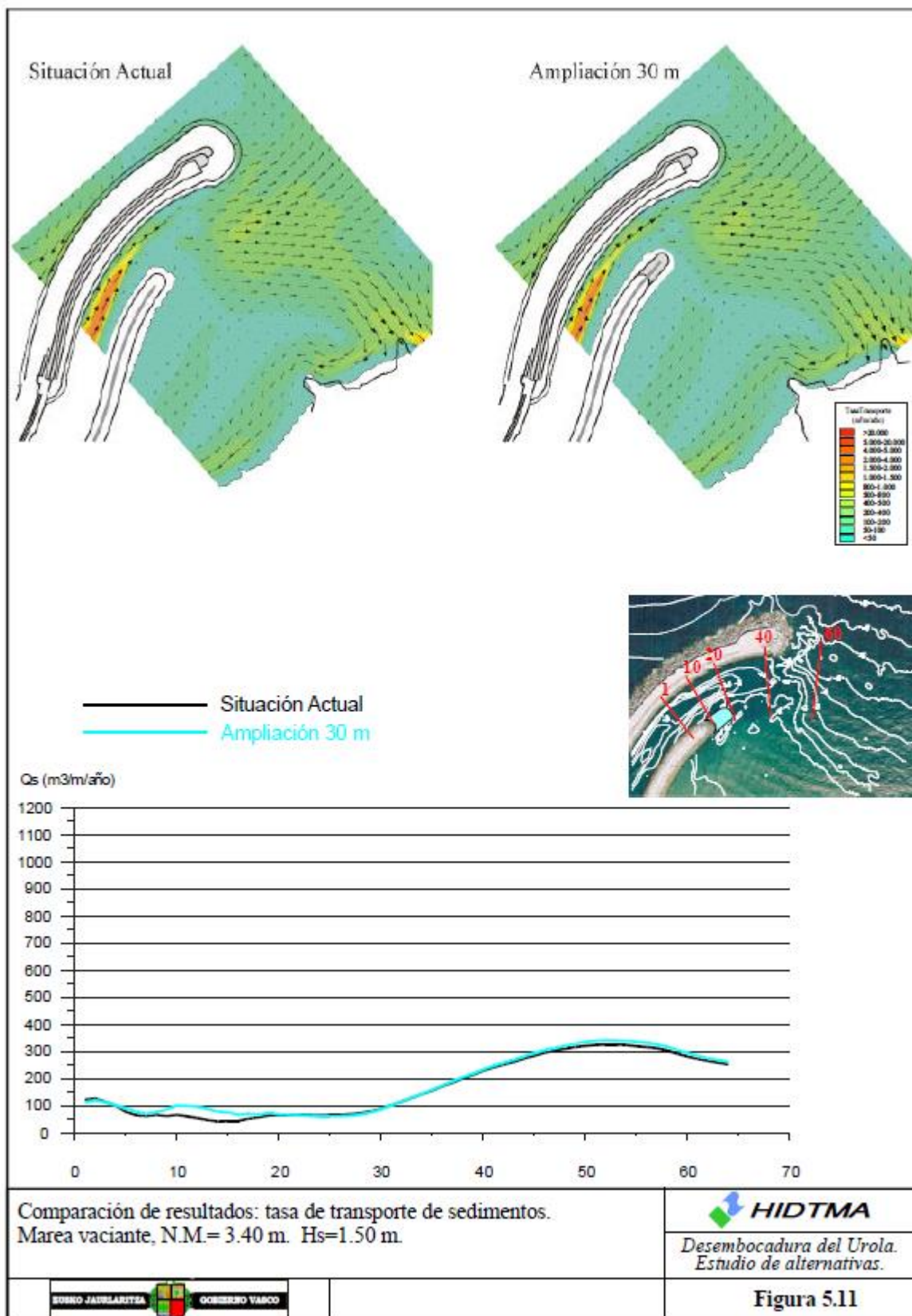


Figura 4.12

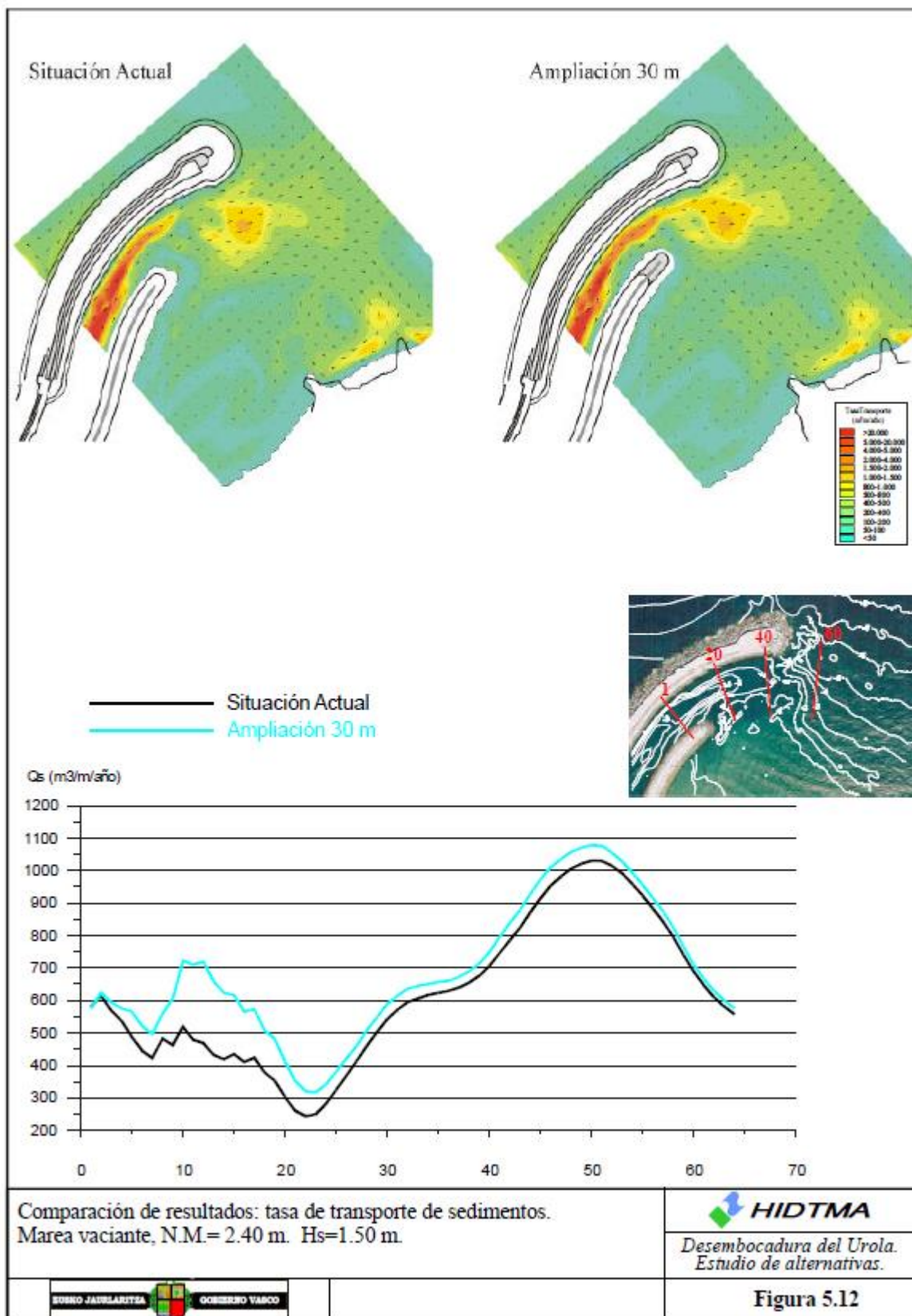


Figura 4.13

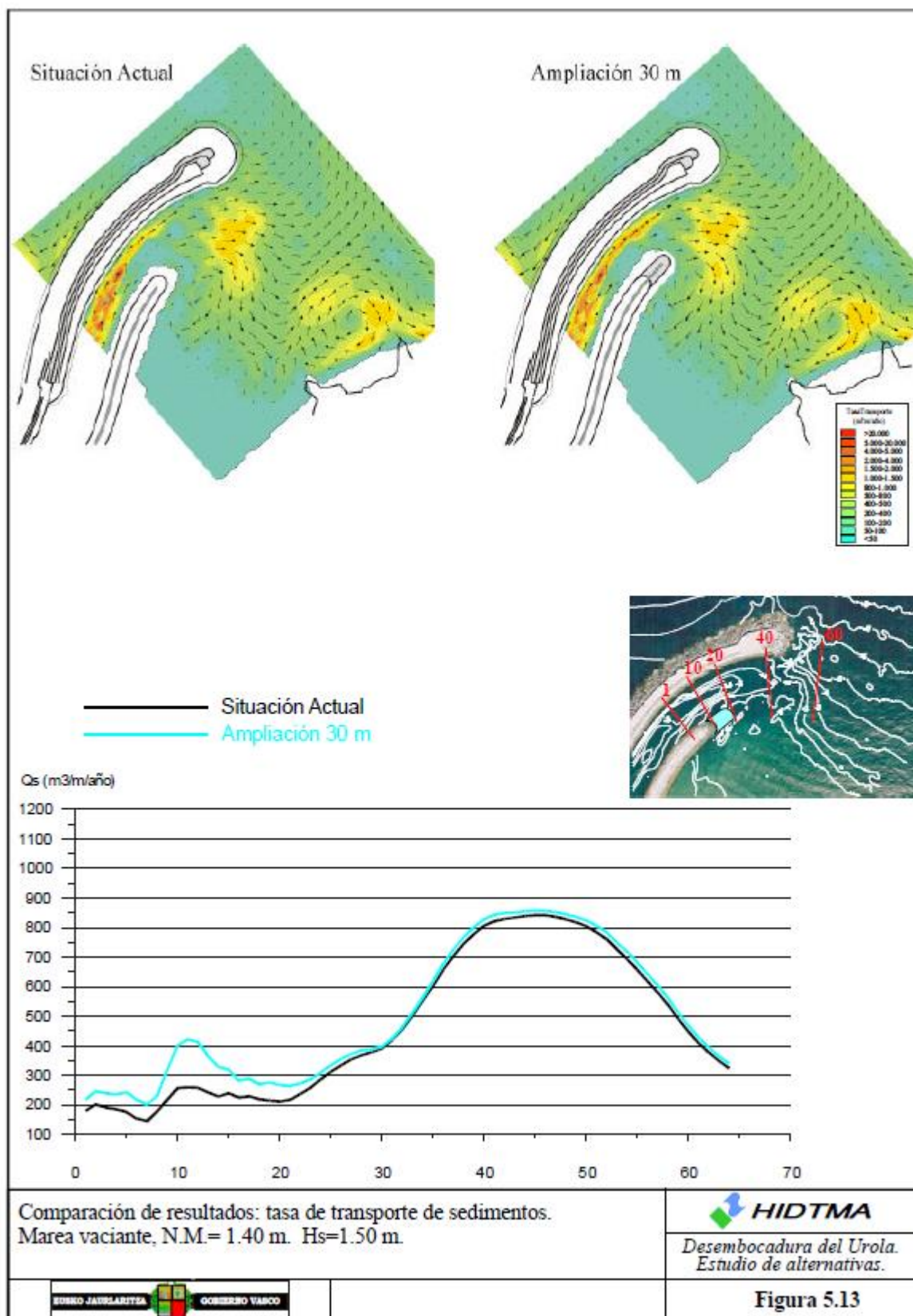


Figura 4.14

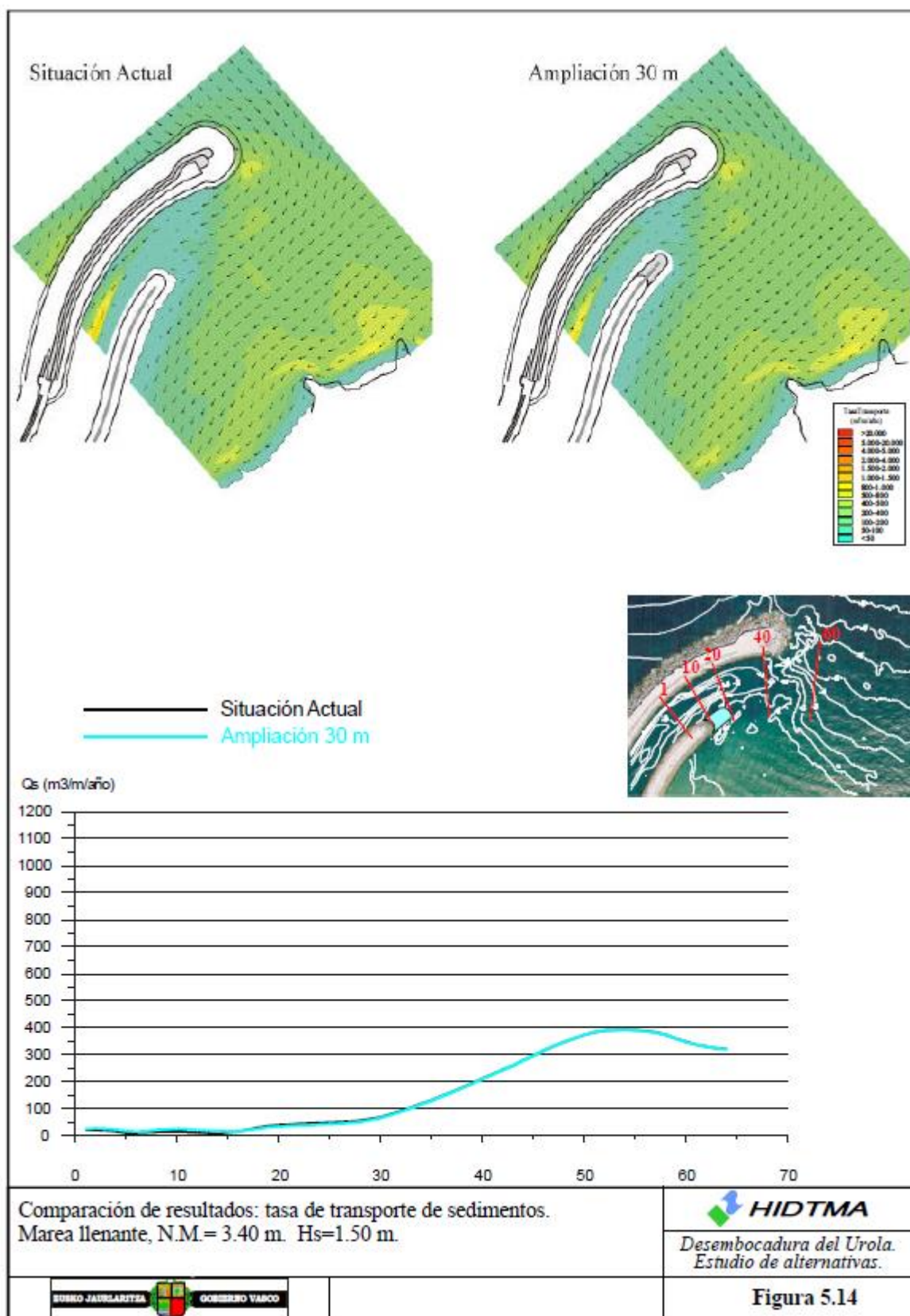


Figura 4.15

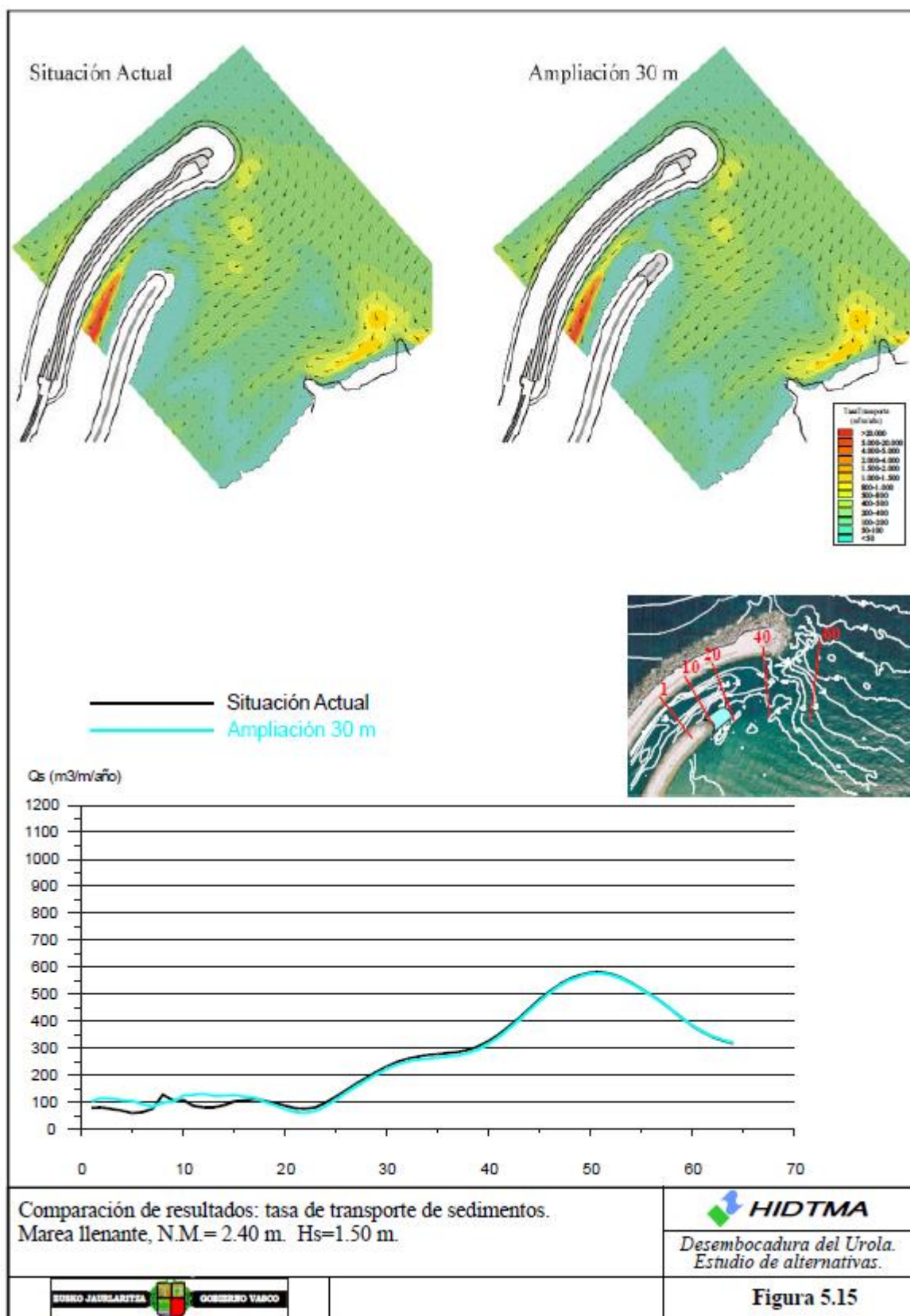


Figura 4.16

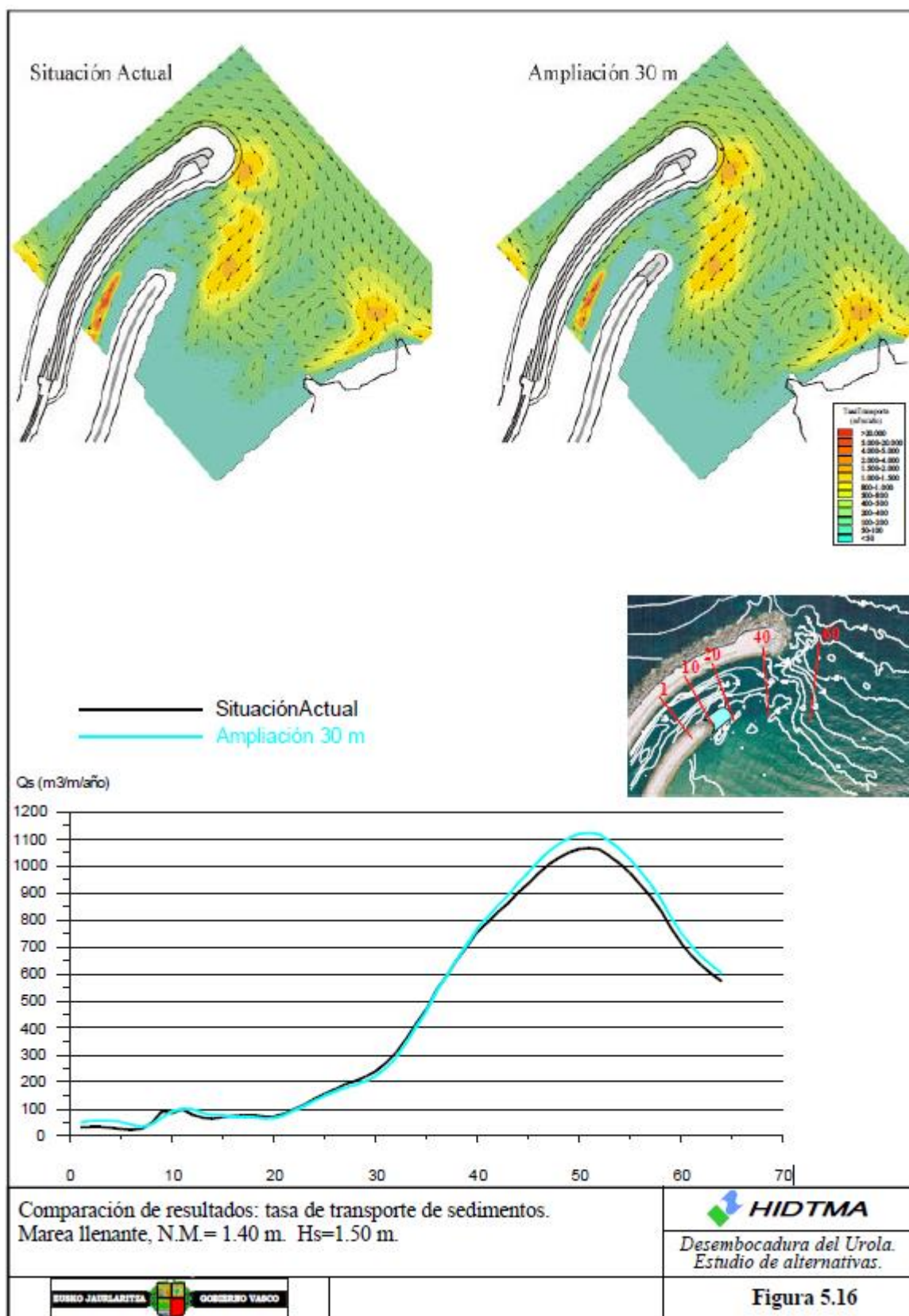


Figura 4.17

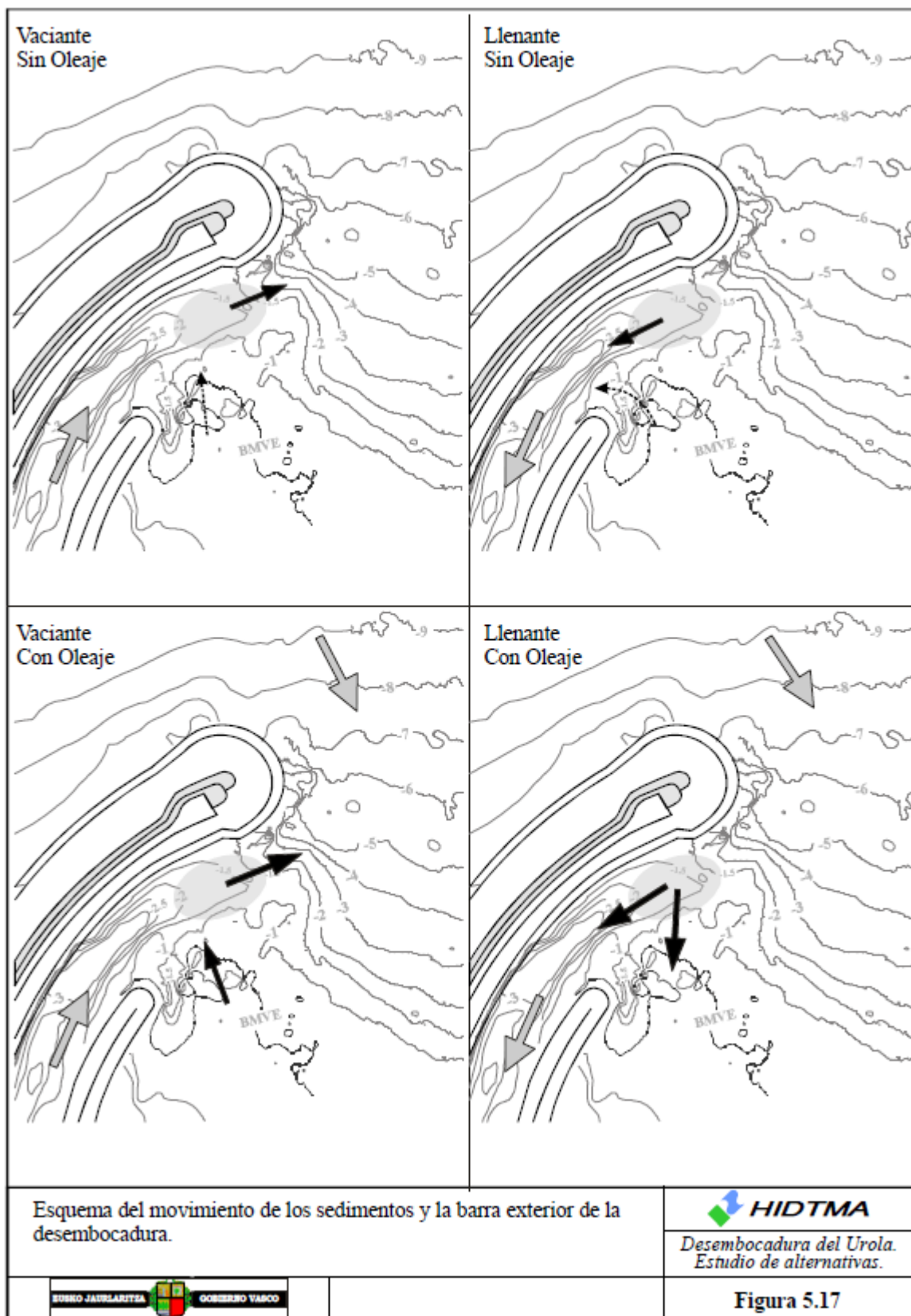


Figura 4.18

Capítulo 5

Dinámica resultante de los efectos del cambio climático

El Ministerio de Medio Ambiente estableció en 2.002 un Convenio de Colaboración con la Universidad de Cantabria donde se analizaron los impactos en la costa por efecto del Cambio Climático.

En el documento resultante se realizó una zonificación morfológica del litoral español, quedando la costa del País Vasco enclavada en la que se denominó Zona 1 en la que abundan los acantilados altos, interrumpidos por playas encajadas, compuestas de arenas finas, y por estuarios, parcialmente cerrados del mar exterior por largos puntales de arena y que en su interior albergan grandes áreas de humedales y marismas.

En dicho documento se han analizado las tendencias, para toda la costa española, de diversos parámetros representativos de los regímenes medio y extremal de clima marítimo, que son los que se han considerado fundamentales para analizar los agentes o forzamientos cuyas variaciones inducidas en el cambio climático pueden tener efectos reseñables en los diferentes elementos que configuran la zona costera.

A partir de los datos de los mareógrafos existentes a lo largo de la costa española se ha determinado que la tendencia actual de variación del nivel medio del mar en el litoral español es de 2.5-3,0 mm/año, por lo que extrapolando al año 2050, se tendría un ascenso del nivel medio de +0.125 a +0.150 m. Este valor se encuentra en la banda media de los contemplados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en su último informe, que establecen una variación del nivel del mar entorno de +0.15 m, con una banda de confianza entre +0.1m y +0.25 m.

Las mediciones del mareógrafo de Santander desvelan que el nivel medio del mar en el litoral cántabro ascendió 2,1 milímetros por año entre 1943 y 2004. Este ascenso es acorde con el análisis de las series de mareógrafos de la zona (Bilbao y St. Juan de Luz) cuyos registros son más cortos. Por otro lado, se han realizado proyecciones, para el golfo de Bizkaia, de la temperatura del océano para tres escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, obtenidas por varios modelos climáticos generales atmosféricos-oceánicos; estas proyecciones se utilizan para estimar las variaciones del nivel del mar debidas a los cambios de temperatura. Los resultados muestran que, con los escenarios considerados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, entre 2001 y 2099 el nivel del mar del golfo de Bizkaia subirá entre 28,5 y 48,7 cm como resultado de la expansión térmica y el deshielo global.

Por lo que se refiere al oleaje el documento indica que se observa un aumento de la energía del oleaje que llega a la Costa Cantábrica. Este aumento es mayor para la rama alta de régimen medio (Hs12), sin embargo, la magnitud del incremento es menor para los sucesos más extremos (HT50). Este comportamiento produce una leve tendencia positiva en las duraciones de excedencia de alturas de ola. La dirección predominante del oleaje tiende a ser más del Oeste, con mayor intensidad en la costa occidental.

Más en concreto, estudios realizados por HIDTMA, en el año 2.009, indican un incremento del 10% de las alturas de diseño extremas recomendadas hasta esa fecha.

Los efectos más importantes que el cambio climático puede suponer en las playas del País Vasco son la variación en la cota de inundación y el retroceso de la línea de costa por el incremento del nivel del mar.



Las playas constituidas por arenas más finas y mayores profundidades de corte, es decir, las que reciben las olas más grandes, serán aquellas que experimenten el mayor retroceso horizontal ya que su pendiente es menor.

Con respecto a los posibles efectos en obras marítimas, el cambio climático puede suponer importantes cambios en el rebase e inundación, tanto en estructuras en talud así como en estructuras verticales que conforman muchos de los paseos marítimos de nuestras ciudades.

Por otro lado, el cambio climático puede acarrear importantes consecuencias en cuanto a la estabilidad de los diques se refiere.

Por lo que se refiere a las playas de Zumaia, las aportaciones sedimentarias del río Urola y la dinámica sedimentaria mantienen a las playas con un volumen de arena que en los últimos años ha tenido un crecimiento muy importante.

No obstante, debe controlarse, mediante los correspondientes trabajos de campo y seguimientos, que la anchura de playa se mantiene en una dimensión que permite el uso compatible con la instalación portuaria, asumiendo que su uso como playa por los ciudadanos debe estar garantizado.

Por otra parte, los efectos del cambio climático mencionados: aumento de la energía incidente del oleaje y del nivel medio del mar, tenderán a producir el retroceso de la línea de playa y la disminución de la superficie de playa seca.

Ante estos efectos, debemos recoger de nuevo las recomendaciones de que los mismos deben controlarse, mediante los correspondientes trabajos de campo y seguimientos, de forma que se asegure que las aportaciones exteriores las compensan y que, en cualquier caso, la anchura de playa se mantiene en una dimensión que permite el uso aceptable de la misma y proporciona un adecuado resguardo de las zonas por ella protegidas.

Capítulo 6

Plan de seguimiento de las actuaciones previstas

El Plan de Seguimiento será específico para cada una de las actuaciones a realizar (habiéndose valorado la estructura y alcance de cada una de las actuaciones y medidas correctoras) en función de la identificación de los impactos previstos, justificándose en todo momento el cumplimiento de los objetivos.

El Programa de Vigilancia Ambiental tendrá como objetivos, por un lado, asegurar el cumplimiento de las medidas correctoras y preventivas de las fases de construcción y explotación, y asegurar que los niveles de impacto no superan los evaluados en la valoración inicial de impacto.

Se establecerán actuaciones en el Programa de Vigilancia Ambiental a corto y largo plazo. Las actuaciones a corto plazo se aplicarán con el período de ejecución de las obras, finalizando cuando se haya ejecutado el total de la obra especificada en el anteproyecto.

El Programa de Vigilancia elaborará informes con una periodicidad trimestral, donde se indiquen la evolución de las obras y los resultados de los controles establecidos para los objetivos marcados y los sistemas afectados por las obras realizadas.

Una vez finalizadas las obras, los informes se ajustarán a los plazos de control de las campañas existentes.

Una vez finalizadas las obras y transcurrido los periodos de vigilancia de los distintos objetivos que contiene el Programa de Vigilancia Ambiental, se elaborará un informe final que resuma los anteriores informes, y donde se describa la evolución de las obras y los resultados de los distintos controles llevados a cabo. Se valorará el cumplimiento de los objetivos marcados, y las distintas afecciones que ha sufrido el medio a lo largo de la fase de construcción y puesta en explotación.

El Programa de Vigilancia Ambiental concretará, para cada una de sus actuaciones, los objetivos de control, los medios y estrategias de muestreo, frecuencias y periodos de muestreo, describiendo la metodología a utilizar en los muestreos.

El Plan de Vigilancia se debe contemplar tanto en la fase de construcción como de explotación.

Como índice de los factores ambientales cuya vigilancia se debe considerar, a expensas del estudio correspondiente, se indican los siguientes:

- Control de la fase de ejecución de obras
- Dinámica litoral. Realización de batimetrías y granulometrías anuales
- Calidad de las aguas.
- Comunidades bentónicas.
- Recursos pesqueros.
- Patrimonio arqueológico.

En el caso de aportaciones de arena a la playa de Zumaia se recomienda que se realice:

- Control de la fase de ejecución de obras



- Dinámica litoral. Realización de batimetrías y granulometrías semestrales, durante e primer año, y anuales durante los dos siguientes, acompañadas de un estudio justificativo de evolución de las playas.

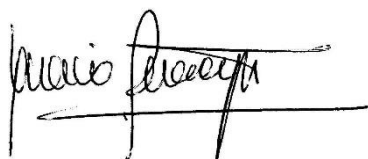
Los objetivos del control batimétrico son asegurar que las aportaciones realizadas son suficientes y no salen de la celda de protección de la playa, manteniendo un ancho de playa suficiente para el uso público y cotas suficientes para la seguridad de las zonas a resguardo.

Capítulo 7

Propuesta para la minimización y medidas correctoras

El sedimento procedente de extracciones de arena en la desembocadura del río Urola debe considerarse que forma parte del sistema sedimentario del que también forma parte la playa de Santiago por lo que, cualquier actuación orientada a la consecución de unos niveles de operatividad adecuados en las maniobras de acceso y salida del Puerto, con un impacto socioeconómico positivo, debe ir acompañada de actuaciones de control y vigilancia del estado de la playa para con ello garantizar el buen uso ciudadano y sus funciones de protección de la costa, tal como se indica en el Plan de Seguimiento de las actuaciones previstas.

Madrid, agosto, 2017



Fdo.: Ignacio Berenguer Pérez

HIDTMA, S.L.