

ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL Y EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ACTUACIONES DEFINIDAS EN EL

“PROYECTO AMPLIACIÓN DEL DIQUE ROMPEOLAS DEL PUERTO DE BERMEO (100 m)”

PARA:

EUSKO JAURLARITZA - GOBIERNO VASCO, Ekonomiaren Garapena,
Jasangarritasuna eta Ingurumena saila- Dpto. Desarrollo Económico,
Sostenibilidad y Medio Ambiente, Viceconsejería de Infraestructuras del
Transportes, Dirección de Puertos y Asuntos marítimos.

Pasaia, 18 de julio de 2022

Tipo documento	Informe
Título documento	ESTUDIO BÁSICO DE DINÁMICA LITORAL Y EVALUACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ACTUACIONES DEFINIDAS EN EL “PROYECTO AMPLIACIÓN DEL DIQUE ROMPEOLAS DEL PUERTO DE BERMEO (100 m)”
Fecha	18 de julio de 2022
Cliente	EUSKO JAURLARITZA - GOBIERNO VASCO, Ekonomiaren Garapena, Jasangarritasuna eta Ingurumena saila- Dpto. Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente, Viceconsejería de Infraestructuras del Transportes, Dirección de Puertos y Asuntos marítimos.
Equipo redactor	Roland Garnier José Germán Rodríguez Patiño Pedro Liria Loza Manuel González Pérez

Garnier R, Rodríguez JG, Liria P y González M. *Estudio básico de dinámica litoral y evaluación de los posibles efectos del cambio climático en las actuaciones definidas en el “Proyecto ampliación del dique rompeolas del puerto de Bermeo (100 m)”*.

Redactado por AZTI para EUSKO JAURLARITZA - GOBIERNO VASCO, Ekonomiaren Garapena, Jasangarritasuna eta Ingurumena saila- Dpto. Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente, Viceconsejería de Infraestructuras del Transportes, Dirección de Puertos y Asuntos marítimos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO	7
3. DESCRIPCIÓN BREVE DEL PROYECTO.....	8
4. CLIMA MARÍTIMO, INCLUYENDO ESTADÍSTICAS DE OLEAJE Y TEMPORALES DIRECCIONALES Y ESCALARES	10
4.1 Oleaje exterior	10
4.1.1 Caracterización estadística.....	10
4.1.2 Régimen medio	12
4.1.3 Régimen extremal	13
4.2 Nivel del mar	14
4.2.1 Marea astronómica.....	14
4.2.2 Marea meteorológica.....	15
4.2.3 Nivel del mar total	15
5. NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS	17
6. BATIMETRÍA HASTA ZONAS DEL FONDO QUE NO RESULTEN MODIFICADAS, Y FORMA DE EQUILIBRIO, EN PLANTA Y PERFIL, DEL TRAMO DE COSTAS AFECTADO	19
6.1 Batimetría de la zona de actuación.....	19
6.2 Batimetría de la zona afectada	20
7. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL.....	23
7.1 Oleaje.....	24
7.1.1 Modelo numérico	24
7.1.2 Resultados	25
7.2 Corriente y transporte sedimentario.....	30
7.2.1 Modelo numérico.....	30
7.2.2 Resultados	32
8. BALANCE SEDIMENTARIO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA, TANTO ANTERIOR COMO PREVISIBLE	38
8.1 Evolución histórica de la zona de estudio	38
8.2 Influencia de la ampliación del puerto en la dinámica litoral.....	41

8.2.1	Oleaje.....	41
8.2.2	Corrientes y transporte sedimentario.....	47
9.	DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO ..	52
9.1	Inundación del estuario	53
9.2	Dinámica del estuario	60
9.3	Inundación y Rebase en el dique del puerto.....	67
10.	CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA Y EFECTOS SOBRE LA MISMA DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS, ASÍ COMO LOS ESPACIOS DOTADOS DE FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	73
10.1	Condiciones de la biosfera submarina	73
10.2	Espacios dotados de figuras de protección ambiental en el ámbito de actuación.....	76
10.2.1	Urdaibaiko itsasertzak eta padurak / Zonas litorales y marismas de Urdaibai ES2130007.....	76
10.2.2	Urdaibaiko Itsasadarra/Ría de Urdaibai ES0000144.....	77
10.2.3	Espacio marino de la Ría de Mundaka-Cabo de Ogoño ES0000490..	78
10.2.4	Ría de Mundaka- Gernika ES026	79
10.2.5	Reserva de la Biosfera de Urdaibai ES213001	80
10.2.6	Otras figuras de interés	82
10.2.7	Características bionómicas en el ámbito de la actuación.....	85
10.2.8	Efectos de la actuación del proyecto	86
11.	RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS Y SU IDONEIDAD, PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS	87
12.	PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES DEL PROYECTO	88
13.	PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN, EN SU CASO, DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS	89
14.	CONCLUSIONES	90
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	93
16.	ANEXO I.....	96

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección de Puertos y Asuntos Marítimos del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco solicitó a la Demarcación de Costas del País Vasco en enero de 2021, la adscripción de bienes de dominio público marítimo-terrestre con destino a la regularización¹ de la “Ampliación del Dique Rompeolas del Puerto de Bermeo”, en el término municipal de Bermeo (Bizkaia). Dicha ampliación se ejecutó a principio de los años 1990 y consistió en la prolongación en 100 m del dique de abrigo. En ese ámbito, la Demarcación de Costas del País Vasco requirió la aportación de documentación adicional, incluyendo:

“- Estudio básico de la dinámica litoral referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, de acuerdo con los términos previstos en el artículo 93 del Reglamento General de Costas.

- Evaluación de los posibles efectos del cambio climático, de acuerdo a los términos previstos en los artículos 92 y 106 del Reglamento General de Costas.“

El *Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas*² detalla en su Artículo 93 el contenido del Estudio Básico de Dinámica Litoral, comprendiendo los siguientes aspectos que serán valorados en el presente informe:

- 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 escolares.
- d) Dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático.

¹ Referencia ADS01/21/48/0001

² <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/10/10/876/con>

- e) Batimetría hasta zonas del fondo que no resulten modificadas, y forma de equilibrio, en planta y perfil, del tramo de costas afectado.
- f) Naturaleza geológica de los fondos.
- g) 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.
- h) Recursos disponibles de áridos y canteras y su idoneidad, previsión de dragados o trasvases de arenas.
- i) Plan de seguimiento de las actuaciones previstas.
- j) Propuesta para la minimización, en su caso, de la incidencia de las obras y posibles medidas correctoras y compensatorias.

El *Real Decreto 876/2014* detalla en su Artículo 92 el contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático:

“1. La evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en los siguientes periodos de tiempo:

- a) En caso de proyectos cuya finalidad sea la obtención de una concesión, el plazo de solicitud de la concesión, incluidas las posibles prórrogas.
- b) En caso de obras de protección del litoral, puertos y similares, un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud.

2. Se deberán considerar las medidas de adaptación que se definan en la estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, establecida en la disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo.”

2. OBJETIVO

Este informe contiene el estudio básico de dinámica litoral y la evaluación de los efectos del cambio climático en relación al proyecto “Ampliación del Dique Rompeolas del Puerto de Bermeo” con el objeto de dar cumplimiento a los Artículos 92 y 93 del *Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas*.

En la **Figura 1** puede verse la ubicación del puerto de Bermeo en el ámbito de la costa vasca situado al este de cabo Matxitxako.

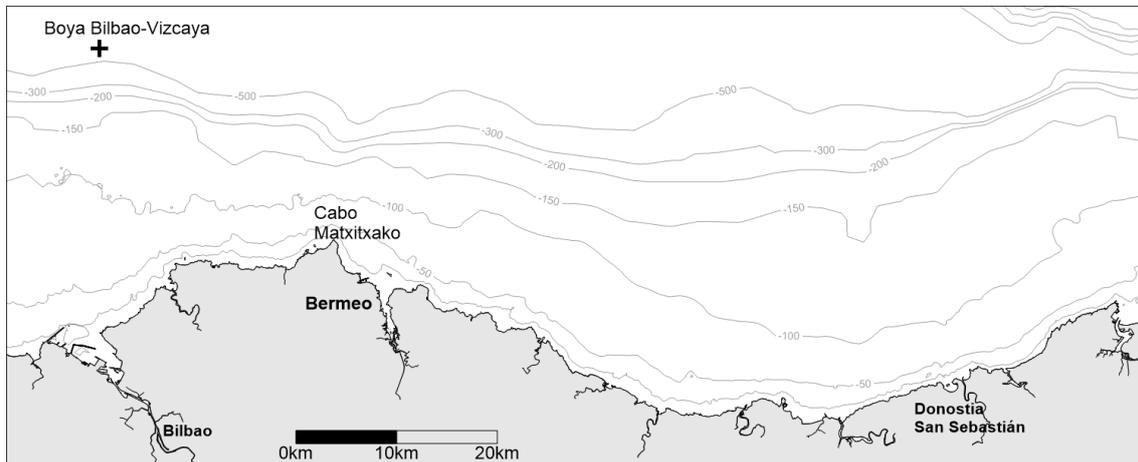


Figura 1. Ubicación del puerto de Bermeo en la costa vasca.

3. DESCRIPCIÓN BREVE DEL PROYECTO

El proyecto consistió en la prolongación en línea recta del dique rompeolas de Bermeo (**Figura 2**). Para ello se amplió en 100 m la superestructura existente (**Figura 3**), a los que cabe añadir otros 50 m del derrame del manto del cono final del morro.

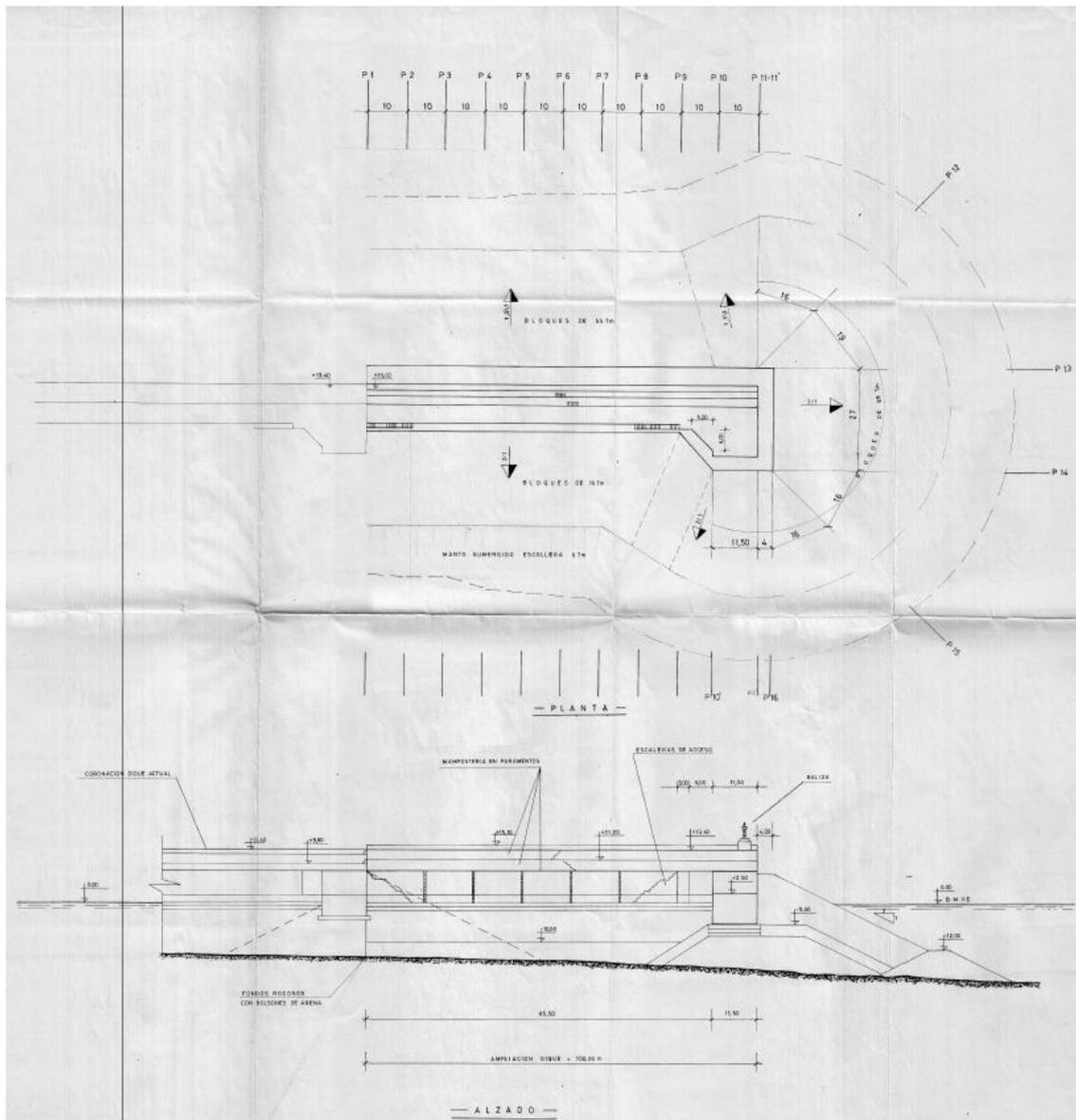


Figura 2. Detalles del proyecto “Ampliación del Dique Rompeolas del Puerto de Bermeo” (1990). Arriba: planta, abajo: alzado.



Figura 3. Arriba: estado preoperacional (ortoimagen de 1990). Abajo: estado post-operacional (ortoimagen de 1995). Fuente <https://www.geo.euskadi.eus/>.

4. CLIMA MARÍTIMO, INCLUYENDO ESTADÍSTICAS DE OLAJE Y TEMPORALES DIRECCIONALES Y ESCALARES

Se muestra a continuación la información de clima marítimo en la zona de estudio, se presenta la caracterización del oleaje y del nivel del mar (suma de la marea astronómica y meteorológica).

El puerto de Bermeo (**Figura 1**) se encuentra al este del cabo Matxitxako que le ofrece protección del oleaje del oeste y oeste-noroeste.

4.1 Oleaje exterior

Se analizan los 30 años de datos de oleaje de la Boya de Bilbao - Vizcaya (1991-2020) de Puertos del Estado localizada a la posición (43.63°N, 3.04°O, **Figura 1**) sobre unos 600 m de profundidad para llevar a cabo la caracterización estadística del oleaje, junto al análisis del régimen medio y del régimen extremal-

4.1.1 Caracterización estadística

La caracterización estadística del oleaje se lleva a cabo por direcciones de oleaje incidente (sectores de 22.5°, **Figura 4**). En la **Tabla 1**, se muestran los resultados de probabilidad de ocurrencia, altura de ola significativa y periodo de pico para condiciones medias y de temporal, en particular:

- El percentil 50 de la altura de ola (H_{s50}) y su periodo asociado (T_p).
- La altura de ola excedida 12 horas al año (H_{s12}) y el periodo asociado (T_p), la cual hace referencia al “temporal del año”.

Los oleajes más frecuentes provienen de la dirección NW (37.49%), seguidos por los oleajes del WNW (30.60%). Además, los oleajes provenientes de dos estas direcciones son los más energéticos.

Tabla 1. Caracterización estadística del oleaje por direcciones en la boya Bilbao-Vizcaya (1991-2020).

Dirección	Probabilidad (%)	Condiciones medias		Condiciones de temporal	
		Hs ₅₀ (m)	Tp (s)	Hs ₁₂ (m)	Tp (s)
N	5.14	1.10	5.53	5.30	14.99
NNE	2.51	1.10	5.39	4.03	9.10
NE	1.08	1.10	4.84	2.76	6.90
ENE	0.66	1.20	4.78	3.30	6.66
E	0.32	1.00	4.15	2.83	6.35
ESE	0.14	1.10	4.50	2.64	12.05
SE	0.15	1.10	4.07	1.70	10.36
SSE	0.17	0.90	3.57	5.17	12.71
S	0.18	1.00	3.72	4.63	12.50
SSW	0.26	1.10	3.90	4.16	11.44
SW	0.40	1.10	9.81	5.93	14.38
WSW	0.57	1.30	10.84	6.03	12.87
W	2.90	1.70	10.84	7.89	11.94
WNW	30.60	2.00	10.91	8.80	14.68
NW	37.49	1.60	9.92	8.20	16.13
NNW	10.98	1.20	9.07	6.00	10.92

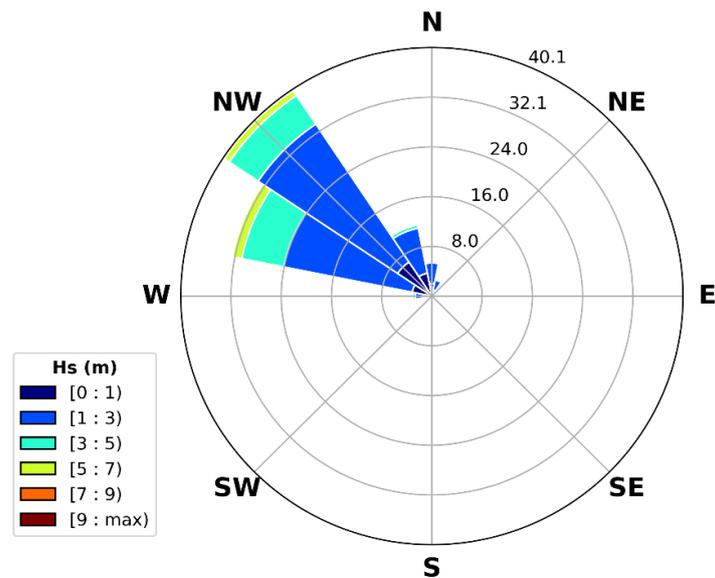


Figura 4. Rosa de oleaje de Hs en la boya Bilbao-Vizcaya (1991-2020).

4.1.2 Régimen medio

El régimen medio de clima marítimo se define como la distribución estadística de un parámetro de estado de mar en un tiempo determinado; definiéndose estado de mar como el periodo de tiempo en el cual las condiciones energéticas, en cuanto a altura de ola, periodo y dirección, son cuasi-estacionarias (en general entre 1 y 3 horas de duración).

La **Figura 5** muestra el régimen medio escalar de altura de ola significativa a partir de los datos de la boya de Bilbao-Vizcaya. Este análisis permite calcular H_{s50} (percentil de 0.5) y H_{s95} (percentil de 0.95). Además, a partir de un análisis de distribución conjunta, se puede calcular el periodo asociado, y la dirección asociada; obteniéndose:

- $H_{s50}=1.60$ m, $T_p=10$ s, $Dir=300^\circ$
- $H_{s95}=4.40$ m, $T_p=13$ s, $Dir=300^\circ$

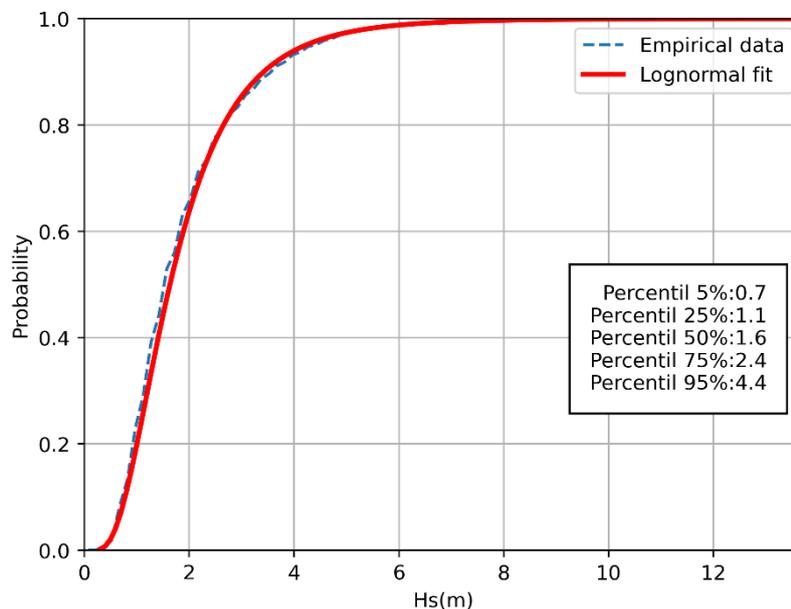


Figura 5. Régimen medio de la altura de ola significativa H_s calculado con los datos la boya de Bilbao-Vizcaya (1991-2020): Probabilidad de ocurrencia en función de la altura de ola significativa. La línea azul representa los datos de la boya, la línea roja es el ajuste con una distribución lognormal.

4.1.3 Régimen extremal

El régimen extremal de una variable climática se define como la distribución estadística del valor máximo de un parámetro de estado de mar en un periodo de tiempo determinado. Por tanto, se denomina régimen extremal a la función de distribución de los valores extremos de una determinada variable. Dicha función expresa la probabilidad de que un valor dado no sea superado en un periodo de tiempo prefijado.

Se muestra, en la **Figura 6** el régimen extremal de la altura de ola significativa H_s calculado a partir del método POT-GPD con los datos la boya de Bilbao-Vizcaya desde 1991 a 2020. Este análisis permite determinar las condiciones de oleaje extremales que ocurren con un periodo de retorno dado, como, por ejemplo, un periodo de retorno de 100 años: $H_s^{100}=13.60$ m.

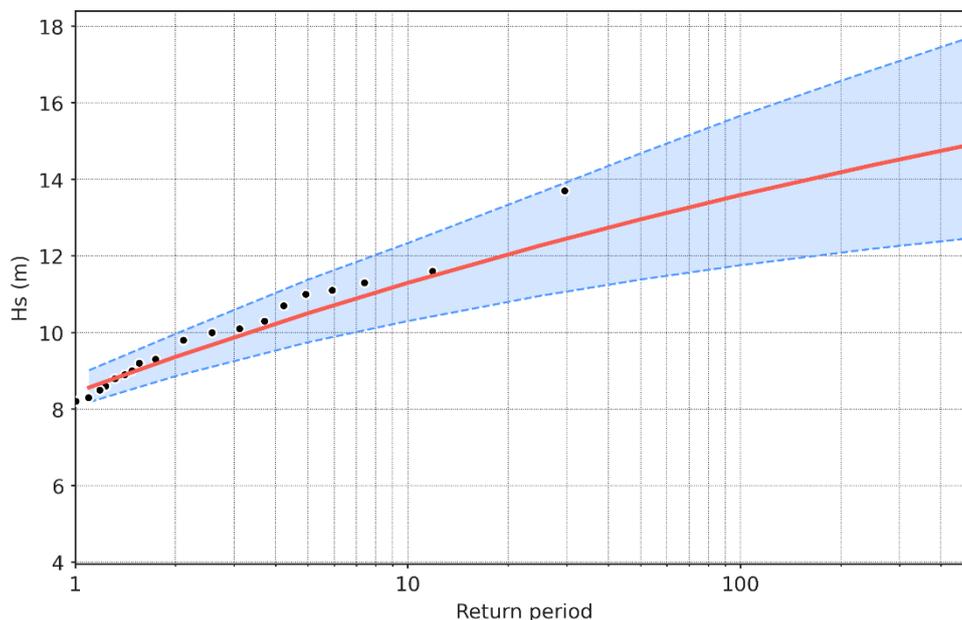


Figura 6. Régimen extremal de la altura de ola significativa H_s calculado a partir del método POT-GPD con los datos la boya de Bilbao-Vizcaya (1991-2020): H_s (m) en función del periodo de retorno (año). Los puntos representan los datos de la boya, la línea roja representa el ajuste a la función de distribución GPD, y la banda azul representa la banda de confianza de 95%.

4.2 Nivel del mar

Se entiende por nivel del mar la posición media de la superficie libre del mar una vez filtradas las oscilaciones de onda corta y larga asociadas al oleaje de viento y grupos de ondas. Una vez filtradas dichas oscilaciones, las restantes son movimientos de largo periodo asociados a la meteorología y a la componente astronómica:

- La oscilación del nivel medio del mar, asociada a la evolución de los sistemas meteorológicos, tiene carácter aleatorio y se denomina marea meteorológica (MM).
- La oscilación del nivel asociada a los movimientos astronómicos tiene carácter determinista y se le denomina marea astronómica (MA).

La combinación estadística de ambas mareas es lo que se denomina régimen del nivel del mar. A continuación, se realizará un estudio de nivel del mar incluyendo un análisis armónico de la marea astronómica y un análisis de régimen extremal de la marea meteorológica, a partir de los 30 años de datos del mareógrafo de Bilbao de Puertos del Estado.

4.2.1 Marea astronómica

Mediante el análisis armónico se obtienen las tablas de marea. En la **Figura 7** se muestra el histograma de la marea astronómica calculando la distribución de frecuencia relativa de pleamares y bajamares observadas. Los niveles se refieren al cero del puerto de Bilbao, para que estén referidas al Nivel del Mar en Alicante (NMMA) se debe de aplicar siguiente corrección de cota: $Z_{NMMA} = Z_{CeroBilbao} - 2.063 \text{ m}$

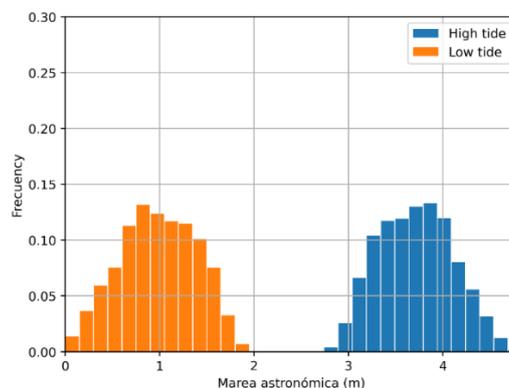


Figura 7. Distribución de frecuencia relativa de pleamares y bajamares obtenidos en el mareógrafo de Bilbao. Frecuencia (en puntos porcentuales) en función del nivel de marea astronómica (MA, m). Aunque se representan conjuntamente, los histogramas se han calculado para la serie de pleamares (azul) y para la serie de bajamares independientemente (naranja).

4.2.2 Marea meteorológica

En la **Figura 8**, se muestra el régimen extremal del nivel de marea meteorológica (MM) calculado a partir del método POT-GPD con los datos del mareógrafo de Bilbao de los últimos 30 años. Este análisis permite determinar los niveles extremos que ocurren con un periodo de retorno dado, como, por ejemplo, un periodo de retorno de 100 años (MM100), se obtiene $MM_{100}=0.47$ m.

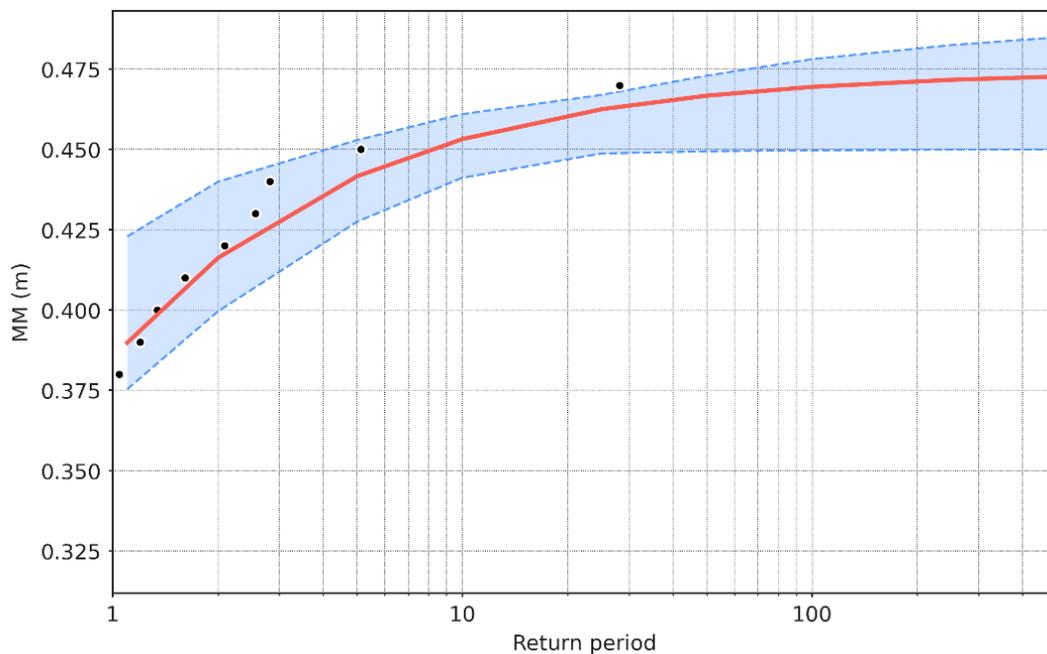


Figura 8. Régimen extremal del nivel de marea meteorológica (MM) calculado a partir del método POT-GPD con los datos del mareógrafo de Bilbao (1992-2020): MM (m) en función del periodo de retorno (año). Los puntos representan los datos del mareógrafo, la línea roja representa el ajuste a la función de distribución GPD, y la banda azul representa la banda de confianza de 95%.

4.2.3 Nivel del mar total

El nivel del mar total se define como la suma de la marea astronómica y meteorológica, en una zona protegida del oleaje. En la **Figura 9**, se muestra la distribución de frecuencia relativa del nivel del mar horario observado en el mareógrafo de Bilbao de Puertos del Estado.

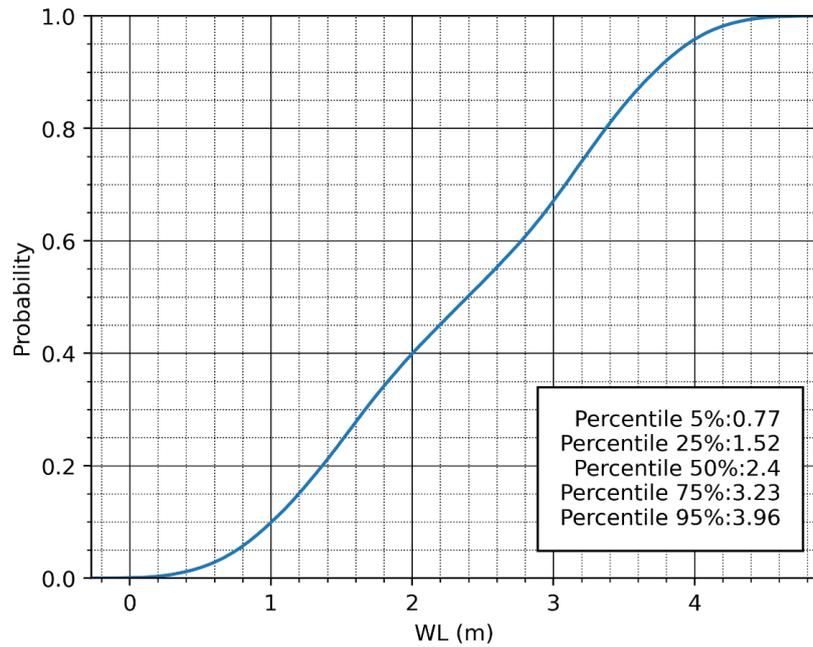


Figura 9. Distribución de frecuencia relativa acumulada del nivel del mar horario observado por el mareógrafo de Puertos del Estado en Bilbao.

5. NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS FONDOS

Actualmente los bloques del manto exterior del morro del dique rompeolas del puerto de Bermeo se encuentran rodeados de sustrato de fondo blando, predominantemente arenoso (**Figura 10**). En la **Figura 10** puede observarse que las líneas batimétricas muestran acumulación de sedimento en la cara septentrional del morro y una erosión localizada a su pie en su cara opuesta. También se ve la presencia de sustrato rocoso, que es dominante en las zonas más someras y contiguas de la línea de costa.

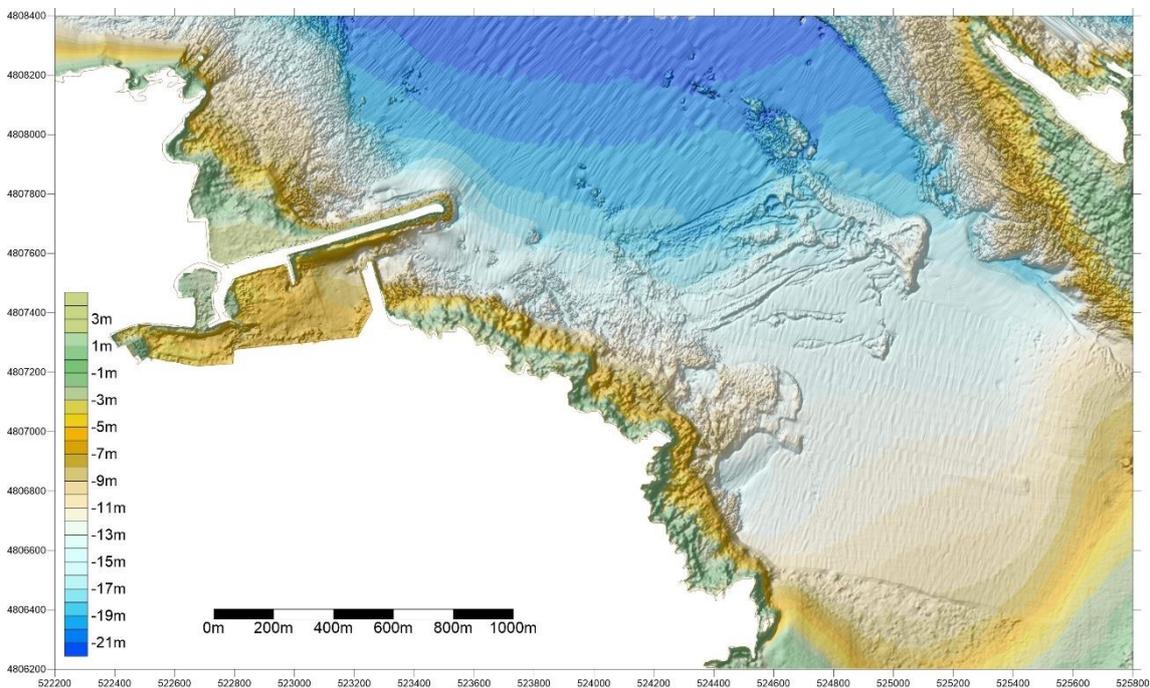


Figura 10. Tipos de fondo en el ámbito del puerto de Bermeo. Las superficies rugosas corresponden a sustrato duro y las suavizadas a sustrato blando.

Desde una perspectiva más amplia (**Figura 12**), es visible la presencia de sustrato mixto (alternancia de sustrato duro y blando) entre la costa y la isla de Iزارo a profundidades de 16-20 m y en una amplia franja situada al sur de la posición del puerto. En profundidades más someras y una vez superada esta zona en dirección sudeste, el fondo es predominantemente sedimentario, correspondiéndose con la parte sumergida del arenal que conforma la playa de Laida. Desde el punto de vista de sus características geológicas la zona rocosa costera está dominada por distintos tipos de lutitas y margas (**Figura 11**).

Para una descripción detallada de la geología en el ámbito de estudio puede consultarse, por ejemplo, Aranburu et al. (2015), Monge-Ganuzas et al. (2015, 2017) o Liria et al. (2009).

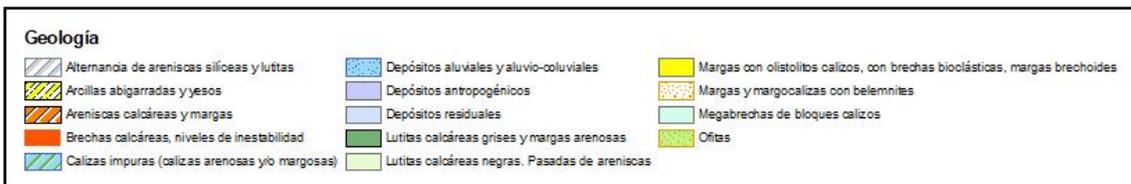
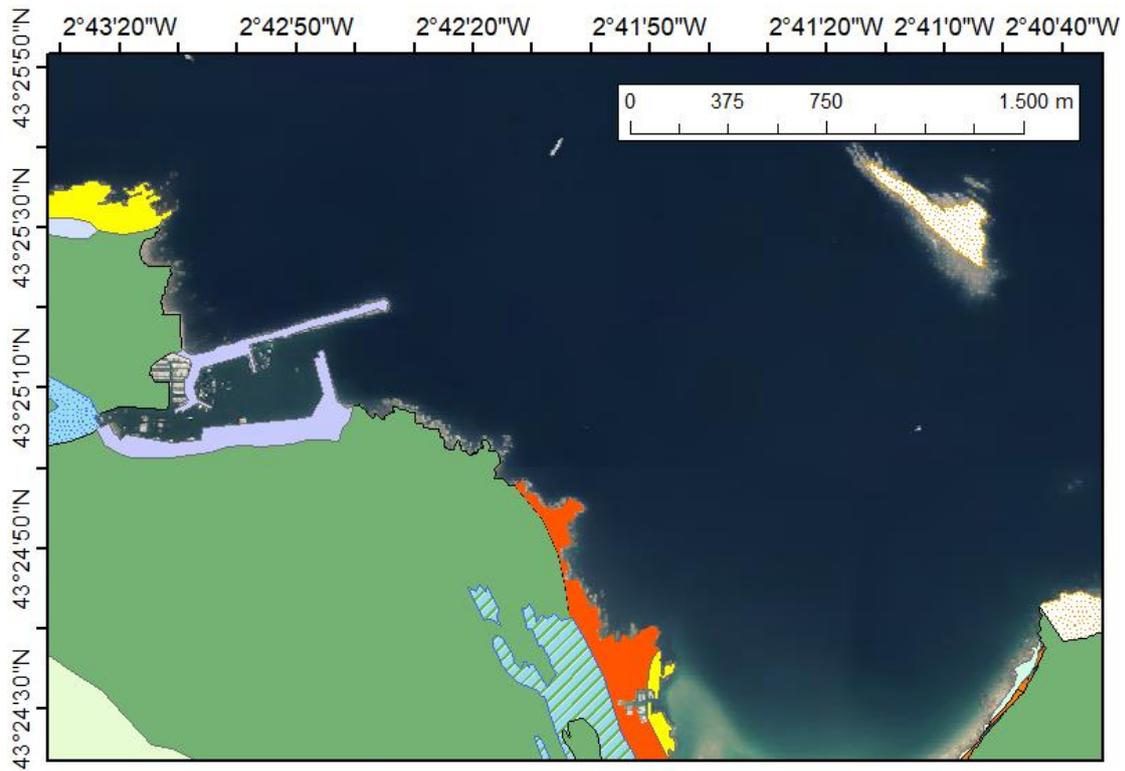


Figura 11. Tipos de roca en la zona de estudio. Fuente: <https://agportal.eve.eus/>.

6. BATIMETRÍA HASTA ZONAS DEL FONDO QUE NO RESULTEN MODIFICADAS, Y FORMA DE EQUILIBRIO, EN PLANTA Y PERFIL, DEL TRAMO DE COSTAS AFECTADO

6.1 Batimetría de la zona de actuación

La zona de actuación presenta una profundidad relativamente uniforme, de unos 12 m. (Figura 12).

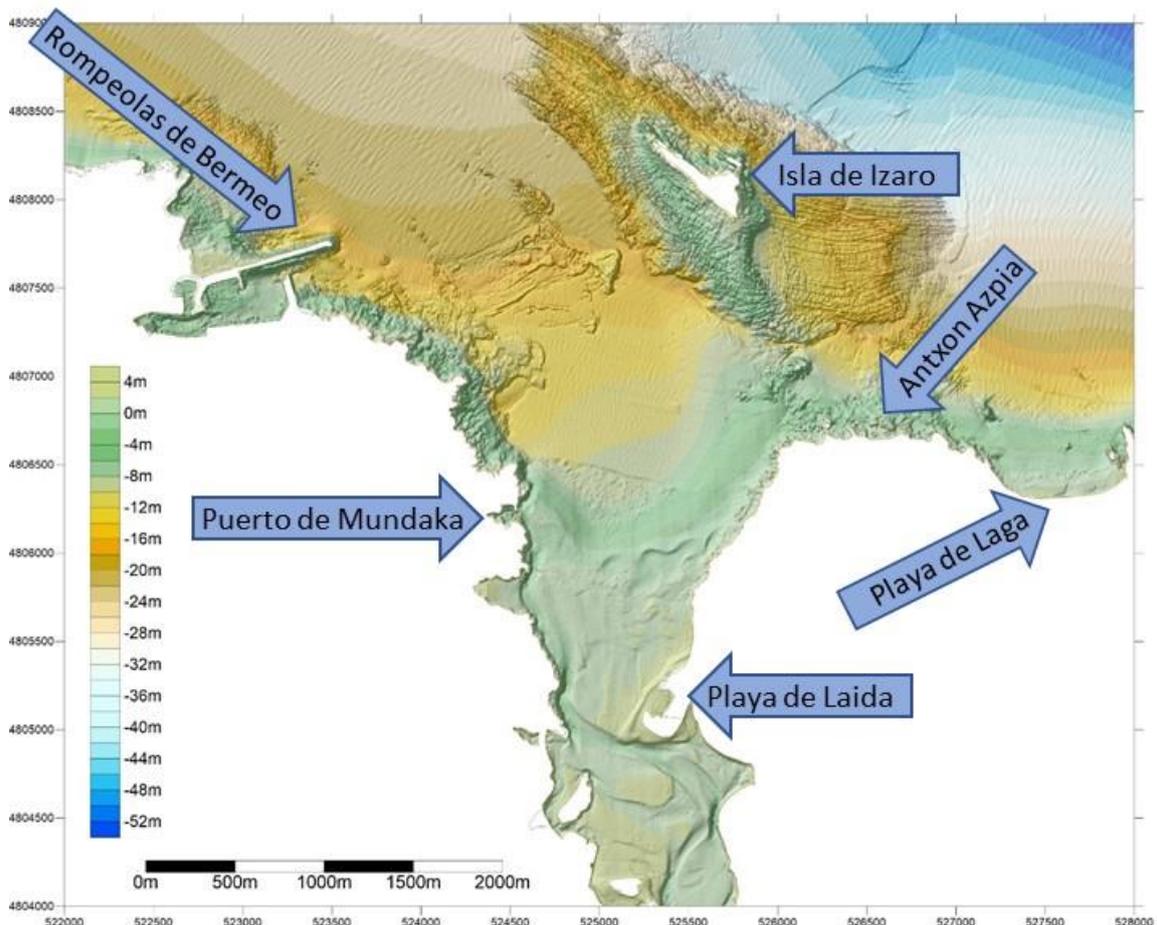


Figura 12. Batimetría del ámbito del rompeolas del puerto de Bermeo, isla de Iزارo y zona externa del estuario del Oka.

6.2 Batimetría de la zona afectada

En la **Figura 13** puede verse el detalle de la batimetría del puerto de Bermeo y se señala el último tramo de 100 m realizado en los años 90 del siglo pasado objeto de este estudio.

Sobre la **Figura 13** se señalan tres secciones sobre las que se muestran los perfiles de la batimetría (**Figura 14**). Entre el hito +300 m y el +450 m, aproximadamente, se observa la presencia de la infraestructura portuaria construida (zona rayada sobre la **Figura 14**).

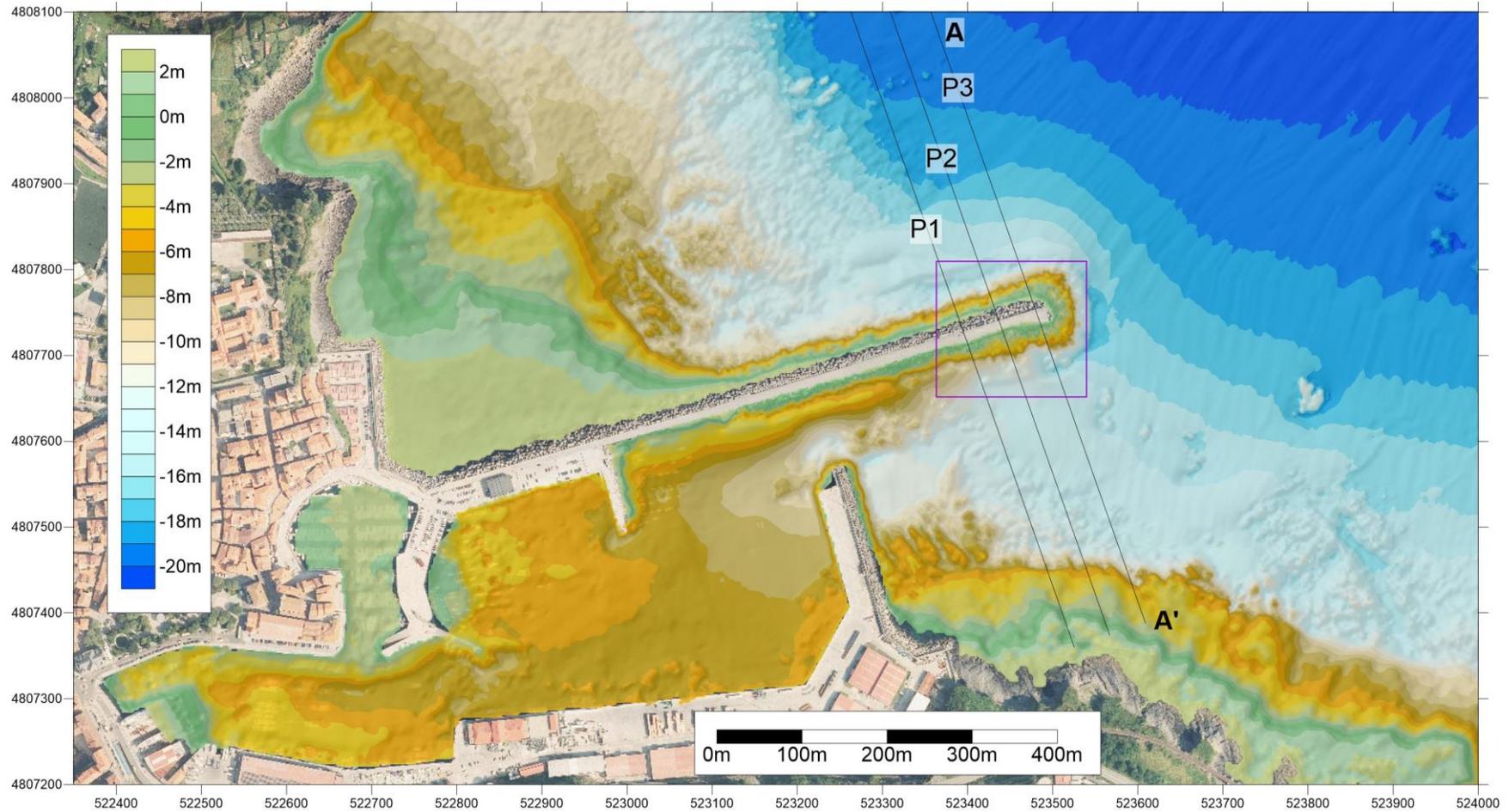


Figura 13. Batimetría del puerto de Bermeo y zona de estudio en los últimos 100 m del dique de abrigo.

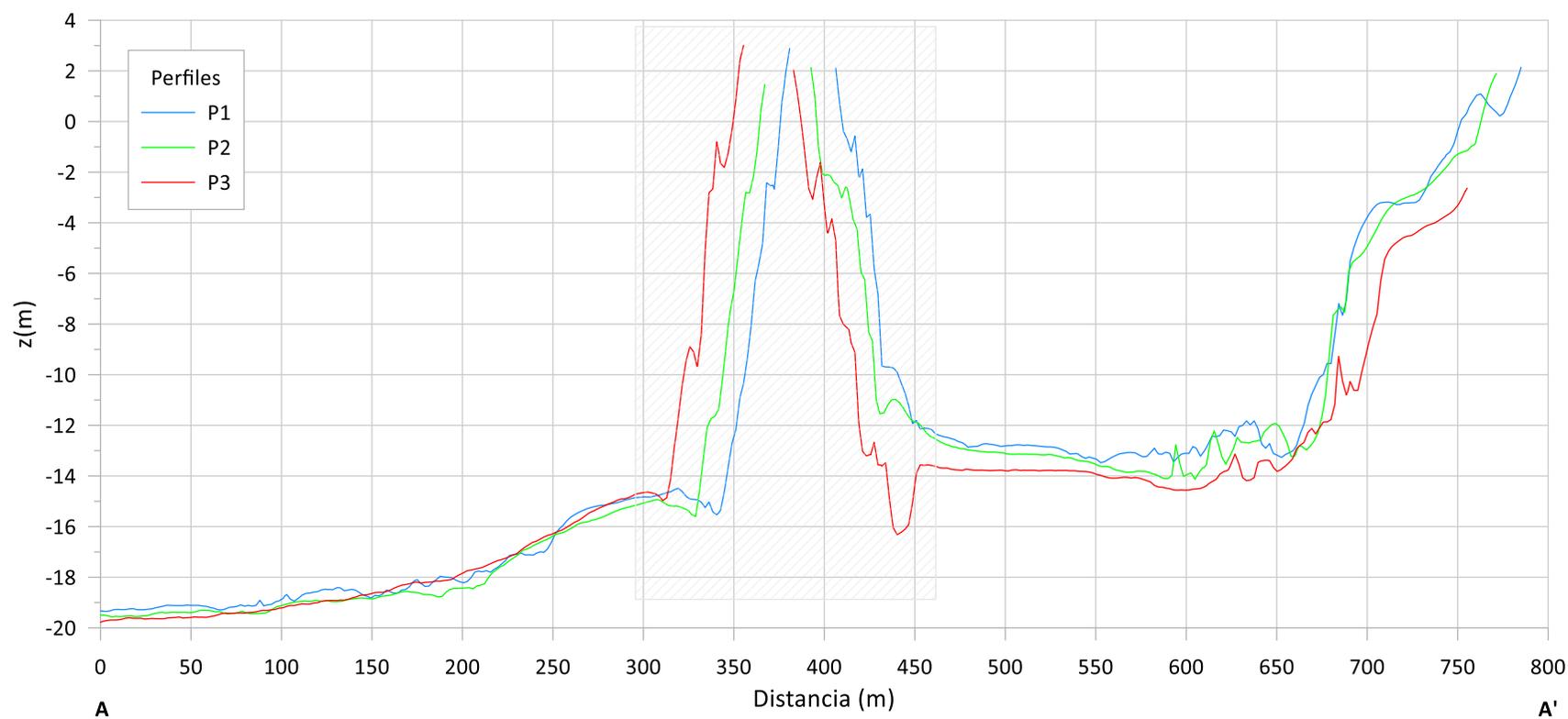


Figura 14. Secciones de la batimetría del puerto de Bermeo recogidas en la **Figura 13** se señala con el rectángulo rayado aproximadamente la zona de construcción de los 100 m del dique de abrigo de Bermeo.

7. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE LITORAL

El puerto de Bermeo se sitúa en la zona externa del estuario del Oka (**Figura 12**). Debido a la importancia y singularidad del entorno y de cara a tener un mejor conocimiento del alcance de las posibles interacciones, el estudio de dinámica litoral no se ceñirá solamente a la zona adyacente al puerto, sino que se va a analizar el estuario en su globalidad. Se trata por tanto de determinar con la mayor exactitud posible qué zona ha podido ser afectada por la ampliación del puerto.

La dinámica del estuario es compleja y, dependiendo de la zona del estuario, domina la acción del oleaje, de la marea, del viento, de la escorrentía fluvial o una interacción entre estos efectos. En este estudio, nos centramos en los efectos del oleaje y marea, los cuales son predominantes en la zona del puerto y en la zona más externa del estuario, *i.e.*, la zona más dinámica del estuario y en contacto directo con la unidad sedimentaria sobre la que se sitúa el puerto de Bermeo.

Para el análisis se emplean distintos modelos numéricos que tienen en cuenta los procesos más relevantes en el entorno del puerto y en el estuario. Se usó un modelo de alta resolución de oleaje para representar los procesos de difracción y refracción del oleaje en el puerto (OLUCA), y un modelo hidro-sedimentario que combina un modelo de oleaje, de corrientes y de transporte de sedimento para estudiar la dinámica del estuario (Delft3D).

Se presentan en esta sección los resultados de dinámica litoral de la situación actual, es decir considerando la ampliación del puerto. Parte de los resultados y de la metodología provienen de los resultados del proyecto OKAKLIMA³. Este análisis sirve de estudio de referencia para estudiar el efecto de la ampliación de los últimos 100 m del dique de abrigo del puerto de Bermeo realizada en la década de 1990 (Sección 8).

³ Proyecto Klimatek 20-21 financiado por Ihobe y ejecutado por AZTI: Modelización piloto de los efectos del cambio climático en el estuario del Oka, Bizkaia, para la determinación de las medidas de adaptación a tomar en los estuarios vascos.

7.1 Oleaje

7.1.1 Modelo numérico

Las propagaciones de oleaje se han realizado utilizando el modelo OLUCA, incluido dentro del Sistema de Modelado Costero (SMC) de la Universidad de Cantabria (González et al., 2007). El modelo se basa en el modelo de código abierto REFDIF (Kirby & Dalrymple, 1994; Kirby & Ozkan, 1994) y tiene en cuenta los procesos de asomeramiento, rotura, difracción y refracción del oleaje. Se emplea en modo espectral para analizar la transformación del oleaje de un estado de mar, representando el patrón de la altura de ola significativa (H_s). Se utiliza, además en modo monocromático, para estudiar el comportamiento de olas individuales, representando la superficie libre de un tren de oleaje regular (Z_s).

Se han empleado dos mallas de propagaciones (ver localización en la **Figura 15**),

- Una malla general (amarillo) con una resolución de 40 m, para la propagación del oleaje desde profundidad indefinida hasta la malla de detalle.
- Una malla de detalle (verde) con una resolución de 20 m para analizar la propagación del oleaje en la zona de afección del puerto de Bermeo.



Figura 15. Mallas de propagación del modelo OLUCA. En amarillo: malla general. En verde: malla de detalle que contiene el puerto de Bermeo y el estuario inferior del Oka.

7.1.2 Resultados

Como resumen de las simulaciones numéricas, se muestran los resultados para dos condiciones de oleaje:

- un oleaje representativo de unas condiciones medias obtenido a partir del análisis del régimen medio de oleaje: $H_s=H_{s50}=1.6$ m, $T_p=10$ s, Dirección= 300° ,
- un oleaje de temporal, que corresponde con la altura de ola excedida un 5% del tiempo: $H_s=H_{s95}=4.40$ m, $T_p=13$ s, Dirección= 300°

Se estudia en particular la propagación del oleaje durante la pleamar con condiciones de mareas vivas medias, y una marea meteorológica media. Por lo tanto, el nivel del mar medio considerado en las propagaciones es de 4.33 m por encima del Cero del puerto de Bilbao. Se elige esta situación por ser aquella en la que los efectos del oleaje en el entorno abarcan una mayor extensión.

La **Figura 16** muestra los resultados de altura de ola significativa (H_s) en la malla de detalle obtenido con el modelo espectral de oleaje, para condiciones medias de oleaje. Se percibe el efecto de sombra al sur del dique del puerto de Bermeo donde se difracta el oleaje. El oleaje incidente tiene una altura H_s de 1.6 m en la condición de contorno (profundidad indefinida), se ve que su altura aumenta hasta 2 m en la zona más expuesta debido a procesos de asomeramiento, cerca de la isla de Izaro. Pero tiene una altura reducida en la zona expuesta del dique, con una altura cerca de 1 m, debido a la configuración de la costa.

El proceso de difracción de oleaje se puede analizar con más detalle, a partir de simulaciones de oleaje regular (olas individuales) que se ha realizado con el modelo monocromático. La **Figura 17** muestra un ejemplo de resultado de la superficie libre de un tren de oleaje regular en condiciones medias, donde se aprecia la curvatura de los frentes de onda alrededor del dique debido a los procesos de difracción y refracción. Los resultados indican valores máximos de 1 m en las crestas de las olas, y mínimos de -1 m, en los senos, lo que representa una altura cresta/seno de 2 m, coincidente con los resultados presentados previamente.

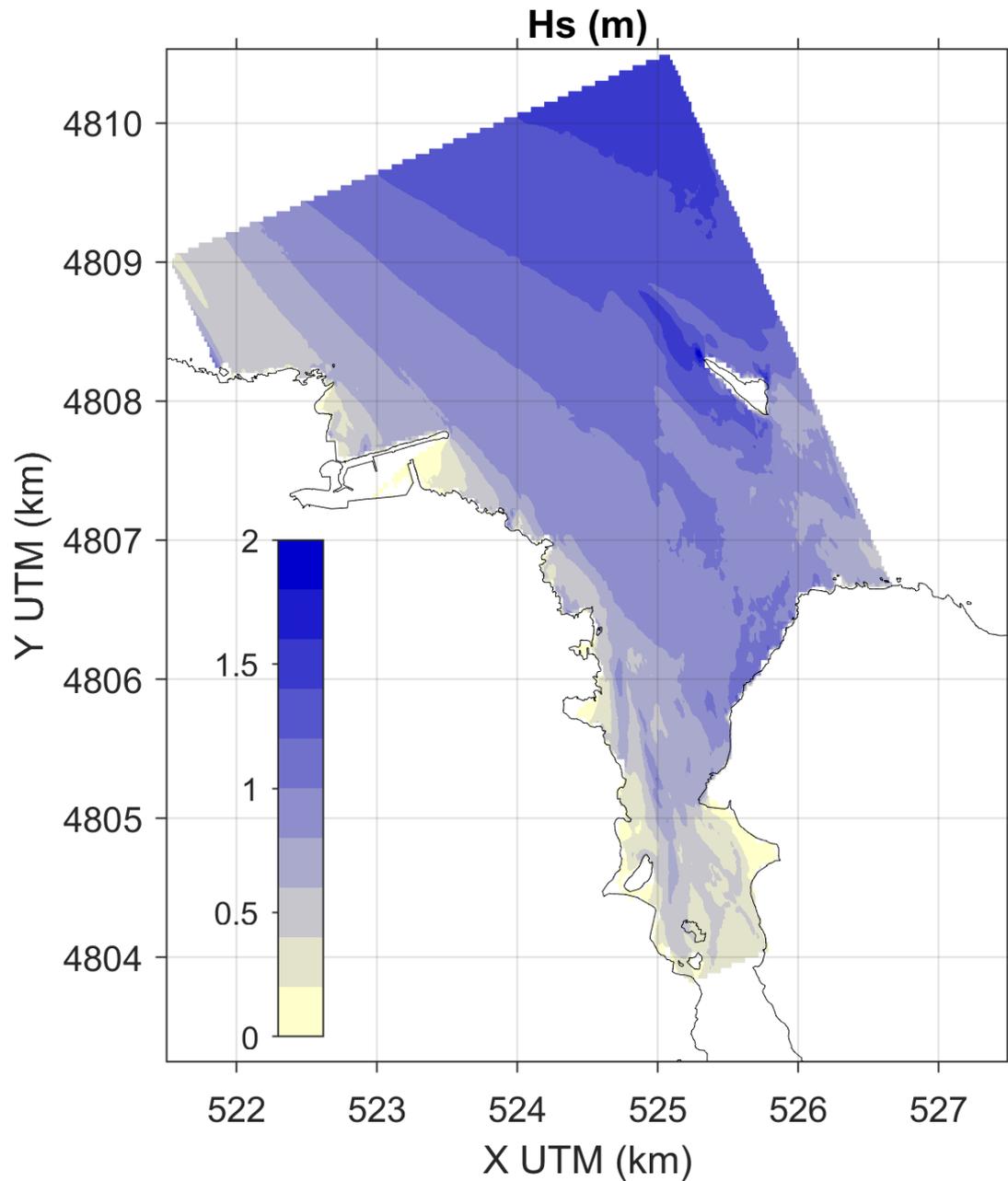


Figura 16. Propagación del oleaje con el modelo monocromático en la malla de detalle. Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas. Altura de ola significativa, Hs (m).

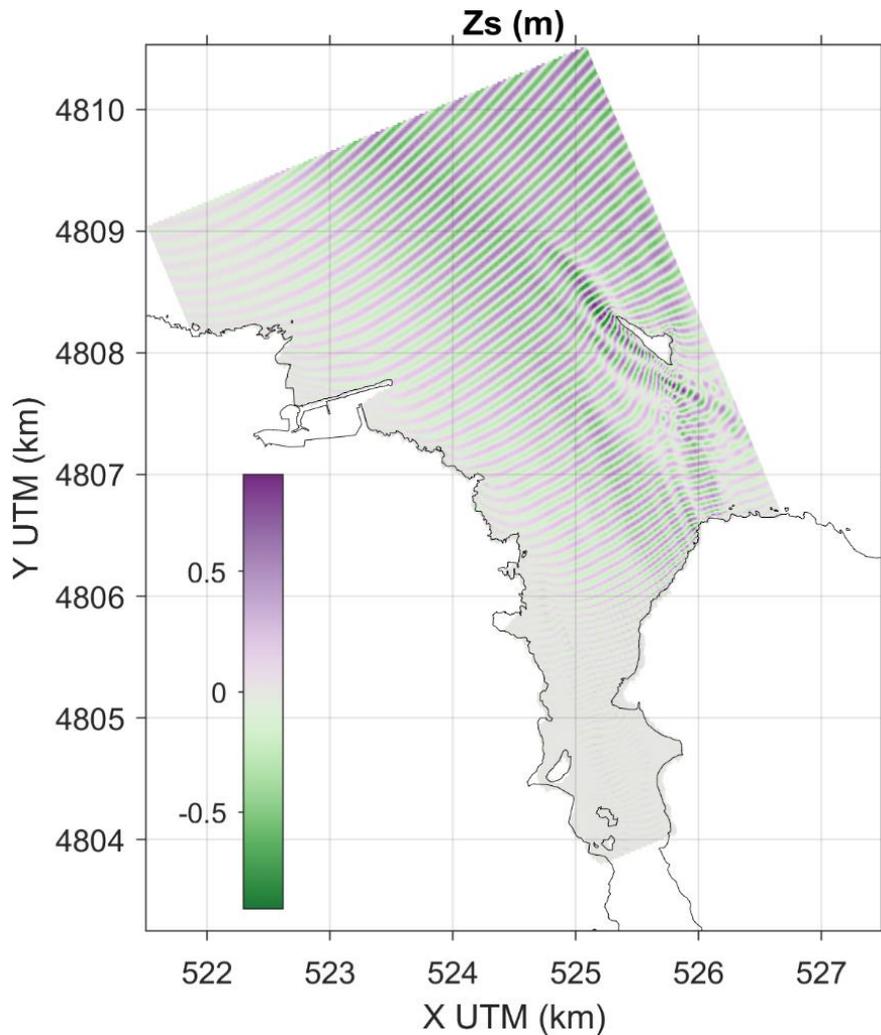


Figura 17. Propagación del oleaje con el modelo monocromático en la malla de detalle. Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas. Superficie libre, Z_s (m).

La **Figura 18** muestra los resultados de propagación de un oleaje de temporal con el modelo espectral, para una altura de ola significativa incidente de 4.40 m. Se observa el efecto de sombra al sur del puerto de Bermeo. La altura de ola significativa que llega al puerto es de cerca de 2 m. La **Figura 19** muestra el patrón de superficie libre para un tren de oleaje regular (modelo monocromático). Se percibe el efecto de difracción inducido por el dique del puerto y la concentración de los frentes de olas entre el puerto y la isla de Iزارo. La rotura del oleaje se produce antes de alcanzar la playa de Laida indicando que ésta se encuentra en una zona de rompientes completamente saturada en situación de pleamar.

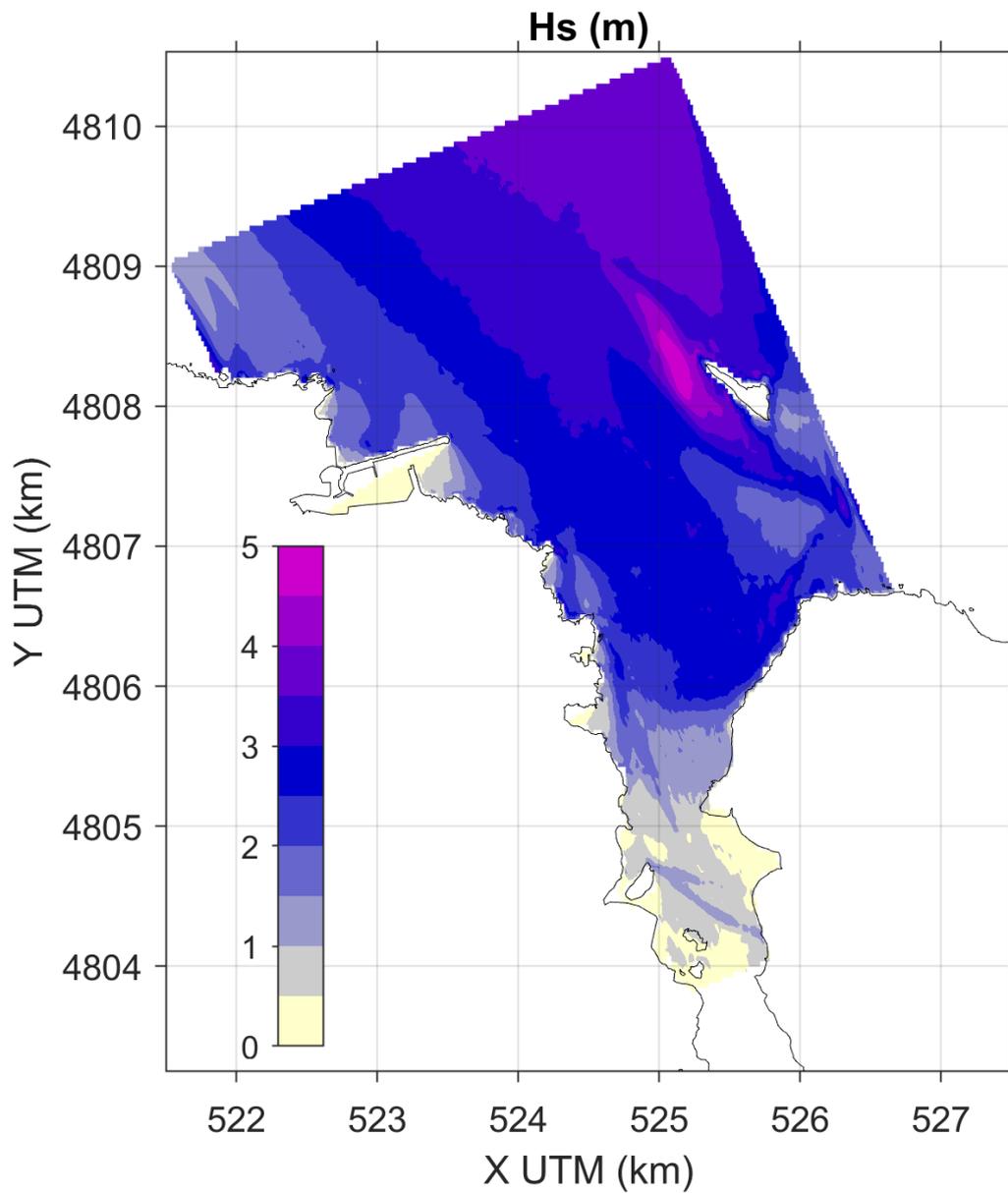


Figura 18. Propagación del oleaje con el modelo monocromático en la malla de detalle. Oleaje de temporal, pleamar de mareas vivas. Altura de ola significativa, Hs (m).

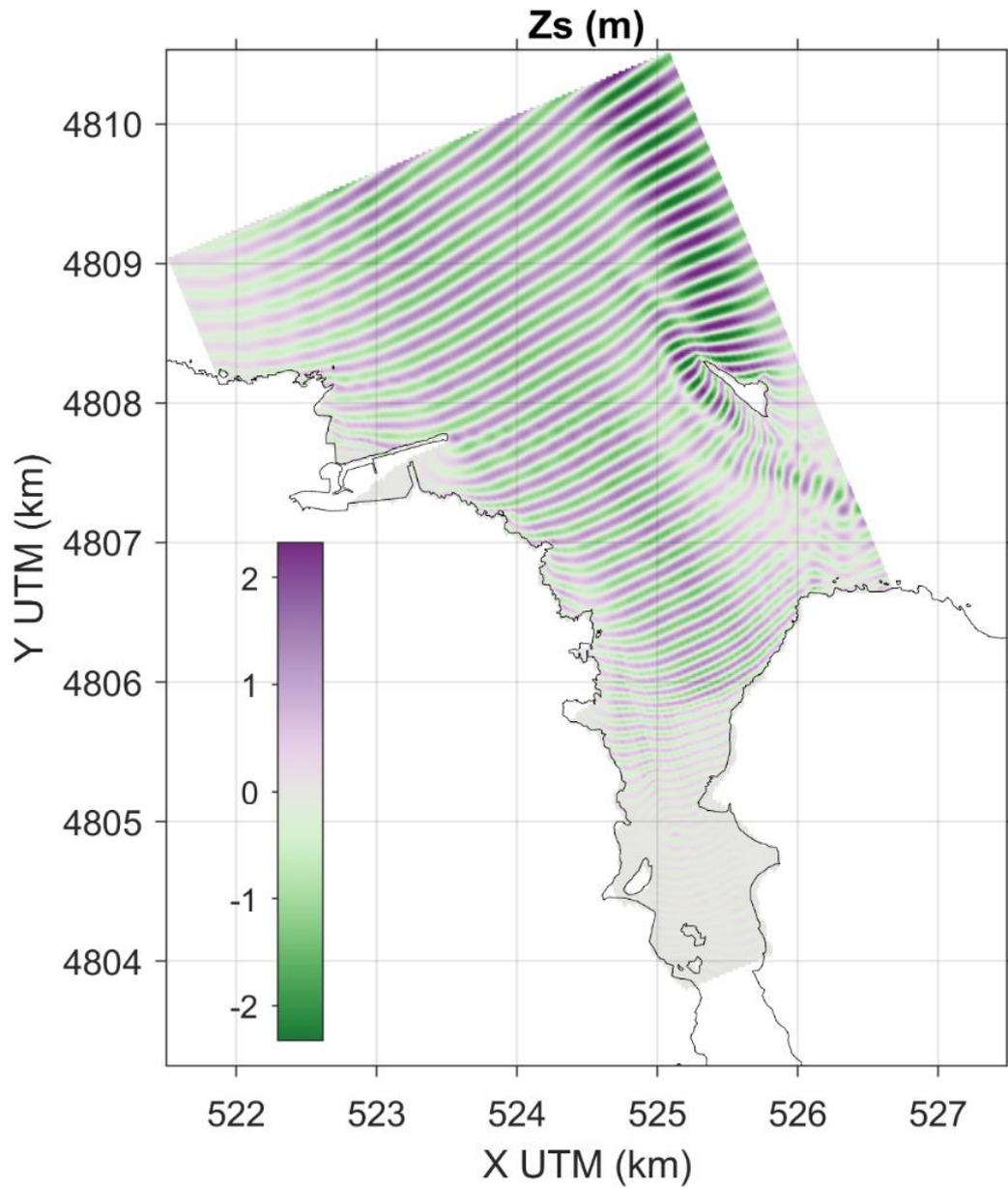


Figura 19. Propagación del oleaje con el modelo monocromático en la malla de detalle. Oleaje de temporal, pleamar de mareas vivas. Superficie libre, Z_s (m).

7.2 Corriente y transporte sedimentario

7.2.1 Modelo numérico

Para el cálculo de las corrientes y del transporte sedimentario, se ha empleado el modelo DELFT3D (Roelvink y Van Banning, 1995). Es un sistema de modelado integrado que permite analizar los flujos, corrientes, transportes sedimentarios y cambios morfológicos inducidos por la acción combinada de la marea y el oleaje. El modelo empleado se compone de dos módulos: un modelo hidro-morfodinámico (FLOW) y el modelo de oleaje (WAVE) que proviene del modelo espectral SWAN (Booij et al., 1997).

Se han empleado distintas mallas de cálculo para los distintos módulos de Delft3D adecuadas a los fines del estudio. Para el módulo WAVE se encadenan 2 mallas (**Figura 20**):

- una malla general para propagar el oleaje desde profundidades indefinidas con una resolución de 1 km (malla regular).
- una malla de detalle de tipo curvilínea con una resolución de, hasta, 10 m en la zona más dinámica del estuario, es decir la zona de la bocana y de la playa de Laida.

Para el modelo hidrodinámico, se ha diseñado una malla curvilínea de una resolución de, hasta, 10 m en la zona con menos profundidad y en las zonas con dinámica más activa, es decir, en la zona de la bocana/playa, en las zonas intermareales y en el estuario superior (**Figura 21**).

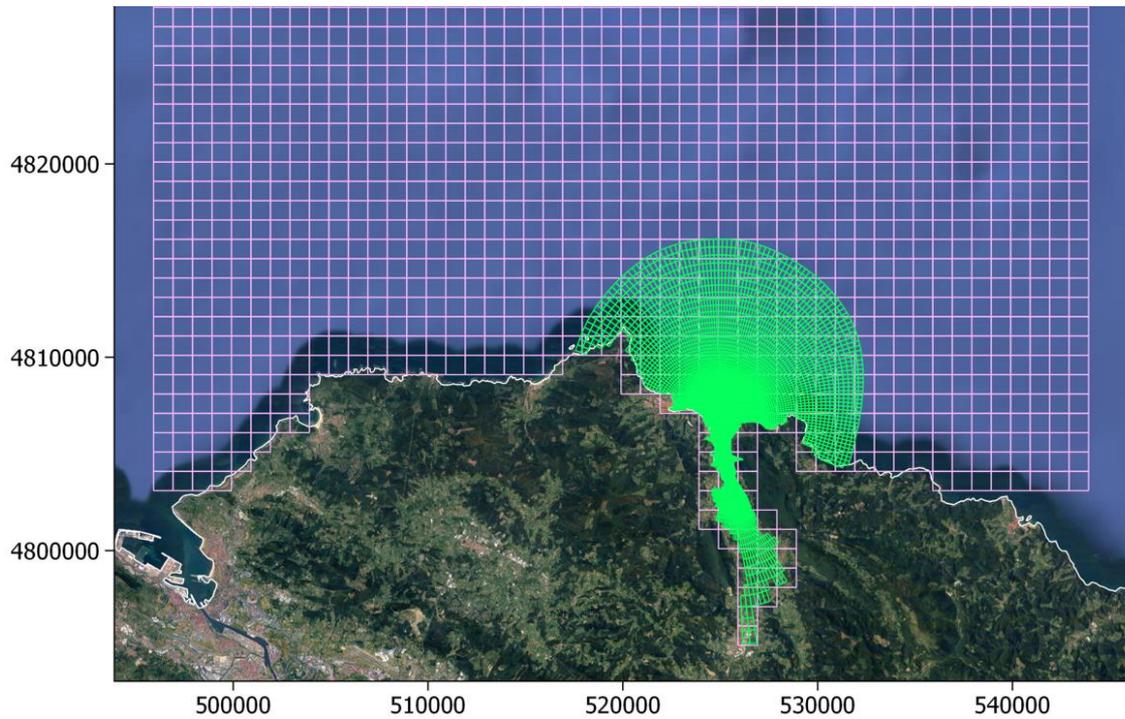


Figura 20. Mallas de cálculo para el módulo WAVE de Delft3D: malla general (rosa) y malla de detalle (verde).

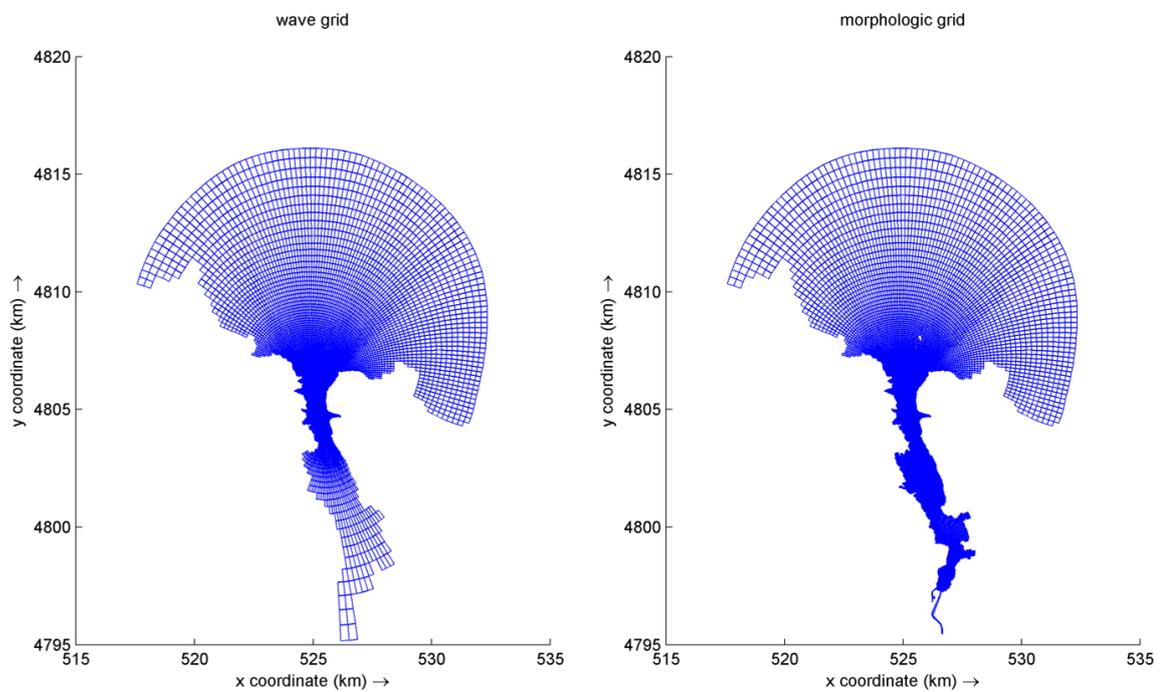


Figura 21. Mallas de cálculo de detalle para el módulo de oleaje (WAVE, izquierda) y para el módulo hidrodinámico (FLOW, derecha).

7.2.2 Resultados

Se presenta a continuación un resumen del estudio de corrientes y transporte de sedimento del estado actual, con la ampliación de 100 m del dique de abrigo del puerto de Bermeo. Se muestran los resultados de las simulaciones numéricas para dos condiciones de oleaje:

- un oleaje en condiciones medias obtenido a partir de un régimen medio: $H_s=H_{s50}=1.6$ m, $T_p=10$ s, Dirección= 300° , y
- un oleaje de temporal, que corresponde con la altura de ola excedida un 5% del tiempo: $H_s=H_{s95}=4.40$ m, $T_p=13$ s, Dirección= 300°

Se presentan en este apartado las simulaciones para condiciones de mareas vivas medias, y con una marea meteorológica media. El nivel del mar medio máximo obtenido en el contorno es de 4.33 m por encima del cerro del puerto de Bilbao (nivel de pleamar).

La **Figura 22** muestra resultados de la corriente máxima alcanzada en todos los puntos del estuario. Se ve que la corriente puede alcanzar puntualmente valores de hasta 1.8 m/s. Los resultados de esta simulación son importantes porque representan condiciones medias de oleaje, y condiciones medias de mareas vivas.

Las mareas vivas generan niveles de agua altos en el estuario, y corrientes de marea intensas y consecuentemente, marcan el momento cuando el estuario es más dinámico. Por lo tanto, estas condiciones medias representan el comportamiento más frecuente de un estuario activo y servirán de referencia para estudiar el efecto de la ampliación del dique en el entorno del estuario.

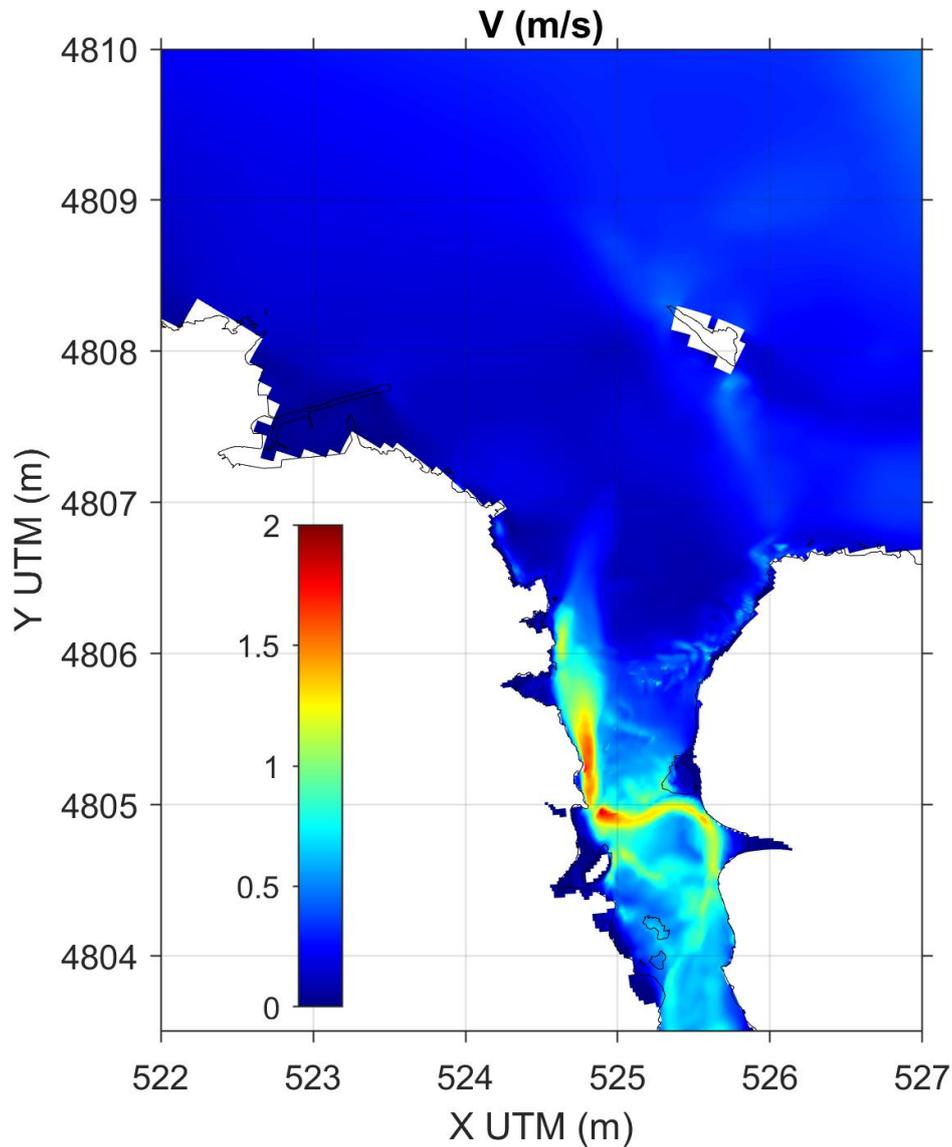


Figura 22. Velocidades de corrientes máximas obtenidas durante un ciclo de mareas vivas medias con condiciones medias de oleaje. Los colores indican la magnitud de la corriente, V (m/s).

Para explicar los resultados anteriores de velocidades máximas, se muestra los resultados de corrientes durante la llenante y la vaciante en el paso por el nivel medio, cuando se observan las velocidades mayores en el estuario. La **Figura 23** muestra los resultados de corrientes que alcanzan una magnitud superior a 1 m/s en la bocana y en el delta de flujo. Se obtiene un patrón de corrientes típico de llenante, con una corriente hacia dentro repartida en la casi totalidad de la anchura del estuario.

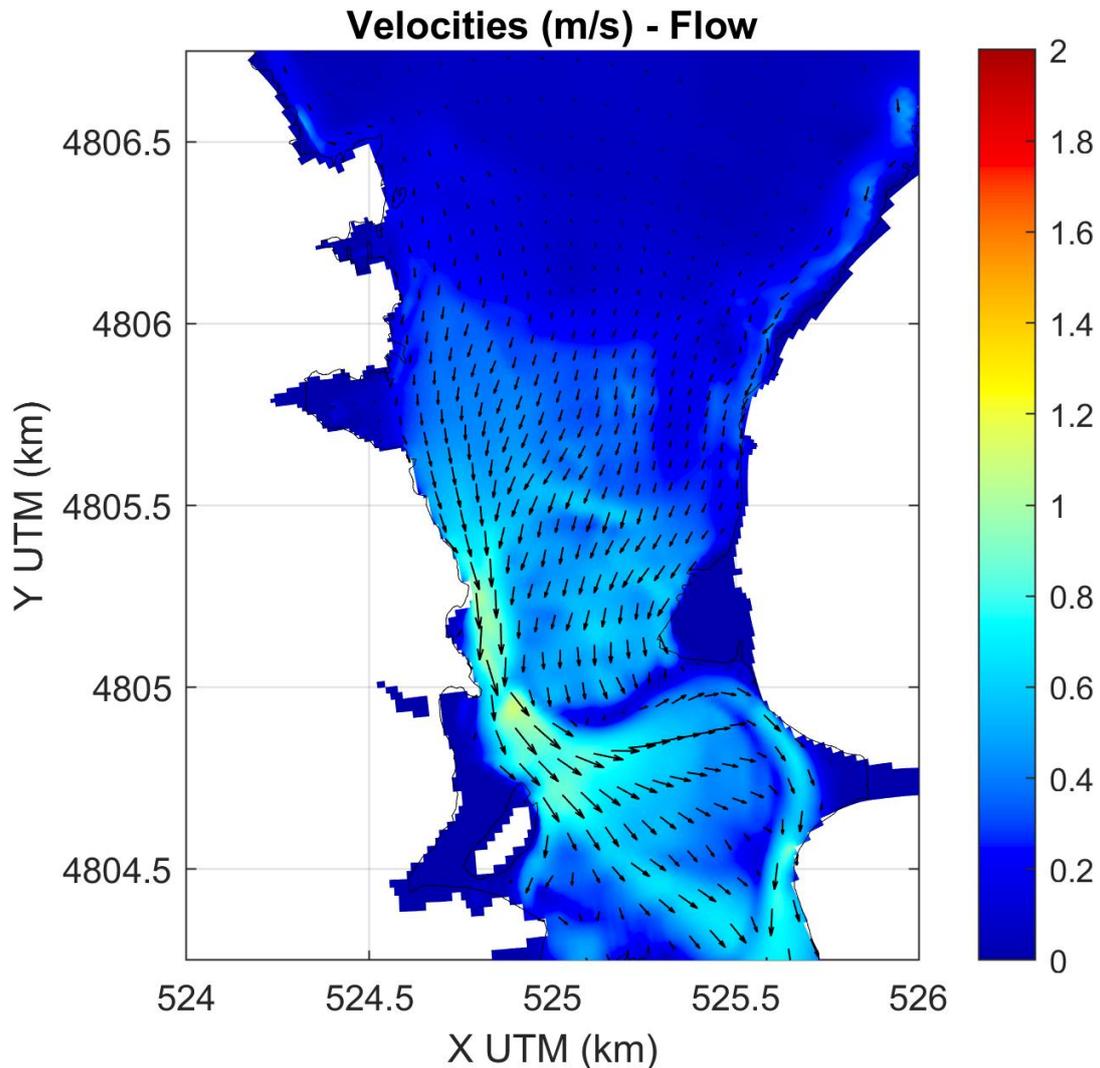


Figura 23. Patrones de corrientes en la bocana del estuario del Oka durante una llenante de mareas vivas medias, con unas condiciones de oleaje medio. Los colores indican la velocidad de la corriente y los vectores indican la dirección de la corriente.

La **Figura 24** muestra resultados de la vaciante de este mismo ciclo de marea (oleaje medio H_{s50} , y mareas vivas). Se observan magnitudes de la velocidad superiores, de más de 1.5 m/s. Los valores máximos se observan a lo largo del canal principal. Es un resultado típico de vaciante, con una corriente dirigida hacia el mar y concentrado en el canal principal. El patrón es muy distinto al patrón de llenante que era más disperso.

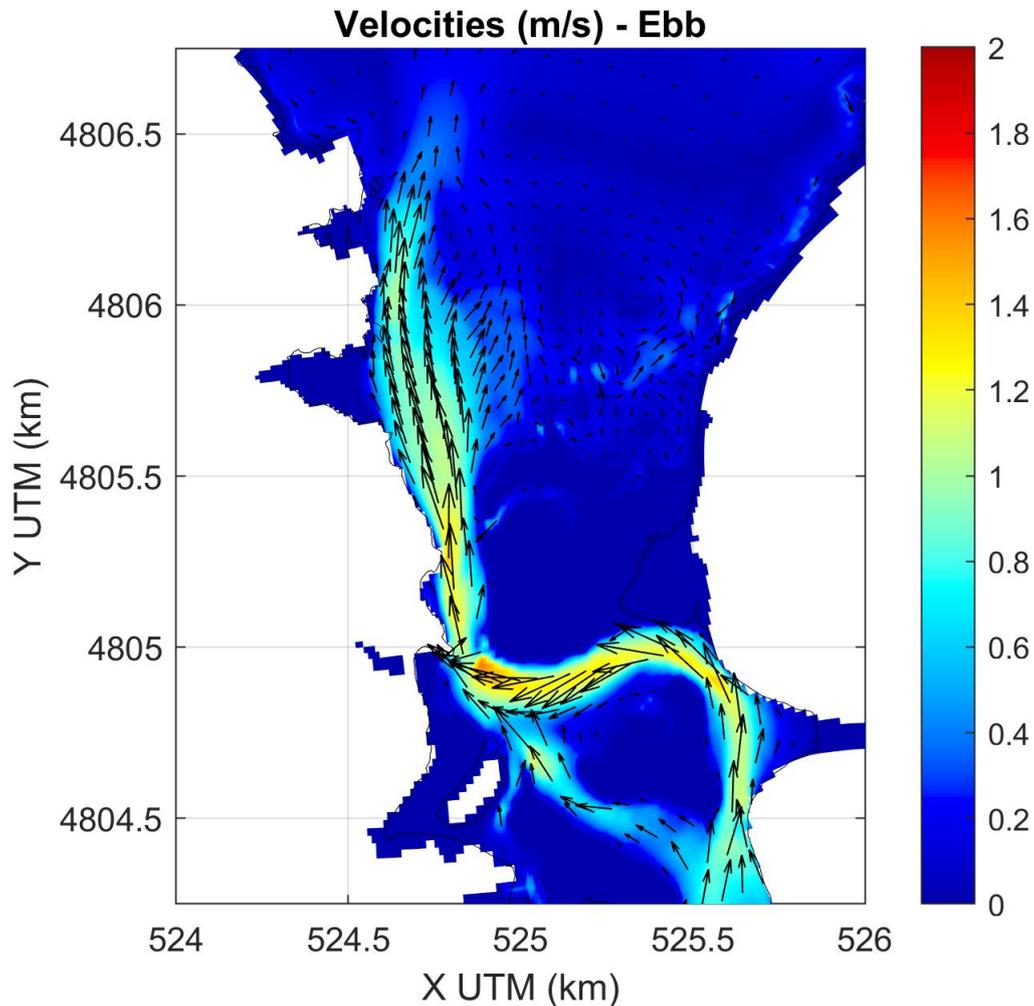


Figura 24. Patrones de corrientes en la bocana del estuario del Oka durante una vaciante de mareas vivas medias, con unas condiciones de olea medio. Los colores indican la velocidad de la corriente y los vectores indican la dirección de la corriente.

La **Figura 25** muestra los resultados de la componente transversal del transporte sedimentario medio anual (en $\text{m}^3/\text{m}/\text{año}$) en la zona de estudio. La magnitud y dirección del transporte indica el sedimento que entra y sale del estuario. Los valores negativos localizados en la barra de Mundaka y en la zona intermareal y submareal de la playa de Laida indican un transporte neto anual hacia el interior del estuario, debido a los efectos del oleaje. Los valores positivos localizados en la bocana indican un transporte neto anual hacia el mar, y se debe principalmente a la corriente de marea.

Los resultados indican que el transporte sedimentario en la zona cercana al puerto de Bermeo, para condiciones medias de oleaje, es de más de un orden de magnitud menor que en la zona más activa del estuario (el estuario inferior, barra de Mundaka, playa de Laida).

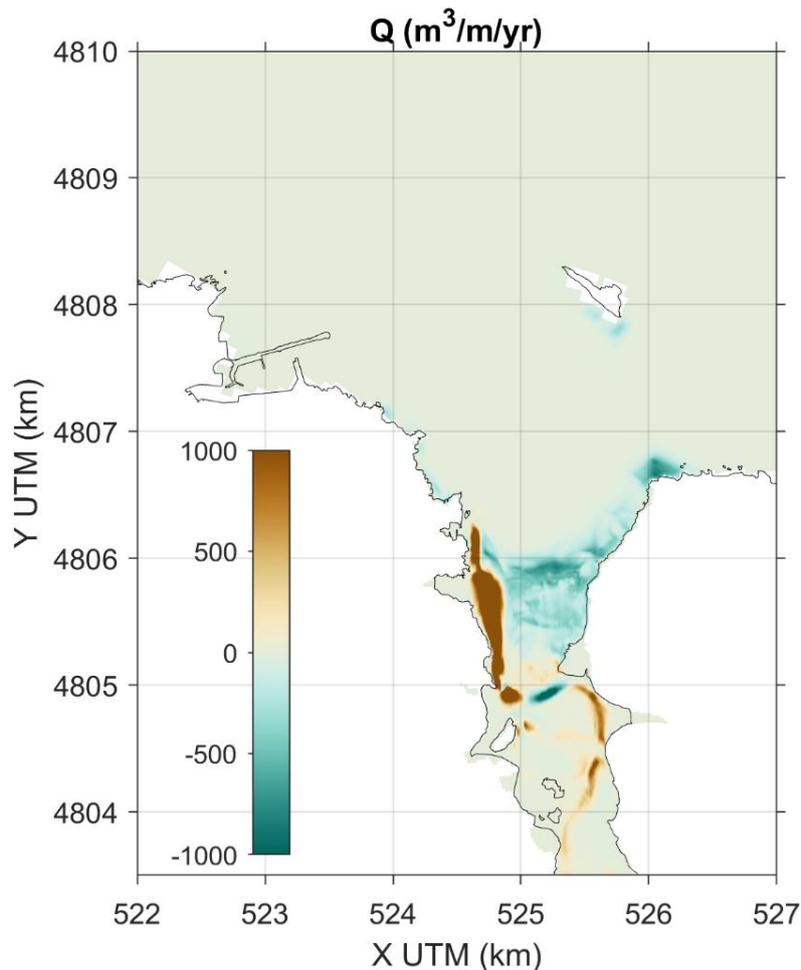


Figura 25. Transporte de sedimento medio anual obtenido durante un ciclo de mareas vivas medias con condiciones medias de oleaje. Los colores indican la componente transversal del transporte, Q ($m^3/m/año$), los valores positivos indican una dirección hacia fuera, los valores negativos indican una dirección hacia el interior del estuario.

Se presentan, a continuación, las simulaciones numéricas de un caso de temporal. Este caso corresponde a una altura de ola significativa de $H_{s95}=4.40$ m en la boya de Bilbao-Vizcaya, con condiciones de mareas vivas. La **Figura 26** muestra los resultados de la corriente máxima alcanzada en toda la zona. El patrón de velocidades es parecido al patrón obtenido anteriormente para condiciones de oleaje medio. No obstante, la

magnitud de la corriente es mayor, se obtiene valores de hasta 2 m/s en distintas zonas del estuario. Por otra parte, se pueden observar algunos picos de velocidades en zonas rocosas (al suroeste de la isla de Izaro) que deben ser atribuidas a inestabilidades numéricas producidas por cambios bruscos en la batimetría que no pueden ser reproducidos de manera adecuada por el modelo numérico. Es de notar que las corrientes en el entorno del puerto de Bermeo son de intensidad significativamente menor ($V \approx 0.5$ m/s) que en la zona más activa del estuario.

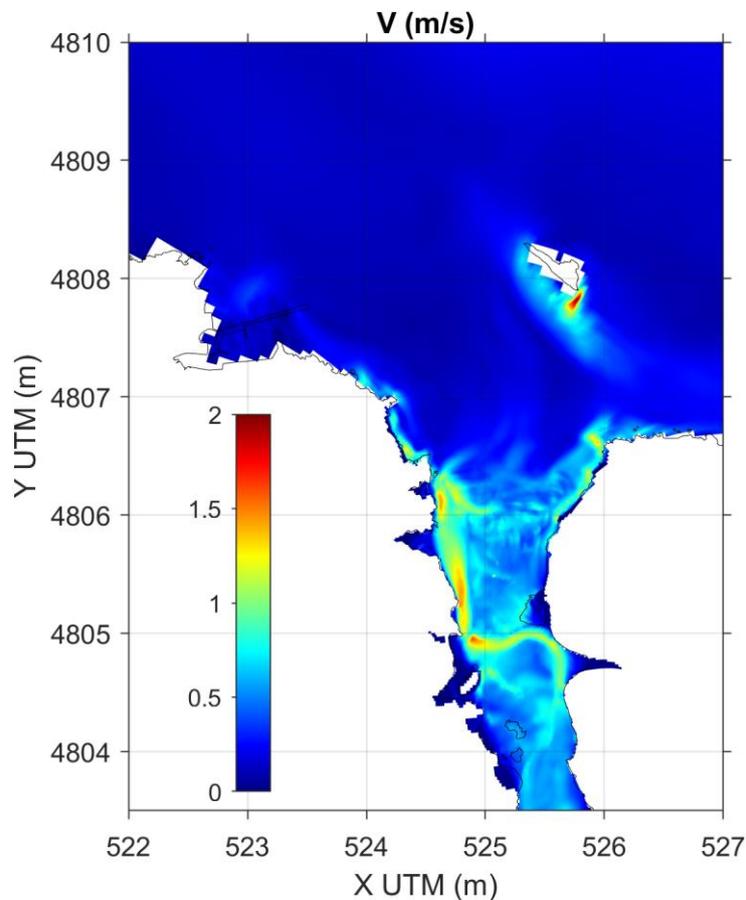


Figura 26. Velocidades de corrientes máximas obtenidas durante un ciclo de mareas vivas medias con un oleaje de temporal. Los colores indican la magnitud de la corriente, V (m/s).

8. BALANCE SEDIMENTARIO Y EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA, TANTO ANTERIOR COMO PREVISIBLE

8.1 Evolución histórica de la zona de estudio

Se analizan las ortofotos históricas e imágenes satelitales disponibles para identificar la evolución pasada de la zona de estudio sobre el periodo 1956 - 2021 (Anejo 1). Para cada ortofoto, se muestra una zona incluyendo el puerto de Bermeo y el estuario inferior del Oka, y se muestra el detalle de la zona del puerto.

Se observa que la desembocadura del Oka es una zona muy dinámica que ha sufrido muchos cambios. Hay que notar, por otra parte, que las ortofotos no se han tomado en la misma referencia de marea, por ejemplo, la ortofoto del 2021 se ha tomado en bajamar, la del 2016 en media marea, y la del 2011 en pleamar, lo que supone una gran diferencia en la superficie inundada en la playa de Laida dado su configuración de perfil con poca pendiente. A pesar de este cambio de referencia, se ha observado cambios morfológicos, que se deben a procesos principalmente naturales relacionados con el equilibrio dinámico del estuario y con la variabilidad climática y estacional. Algunos cambios son consecuencias de actuaciones humanas, y, en particular de intervenciones de dragado y de regeneración, pero estos cambios no están correlacionados con la ampliación del puerto de Bermeo.

En la zona del puerto de Bermeo, no se observa ningún cambio, excepto los cambios de ampliación del puerto (**Figura 27** y **Figura 28**), dado que se encuentra en una zona rocosa sin playa de arena (Sección 5). Los únicos cambios morfológicos que se pueden relacionar con la ampliación del puerto se han producido en la zona submareal en la zona inmediatamente más cercana al puerto, y en particular en la zona adosada al dique donde se ha producido una ligera acumulación de sedimento, y en la zona arenosa de la bocana del puerto. Estos cambios se observan en los datos batimétricos (Sección 6).

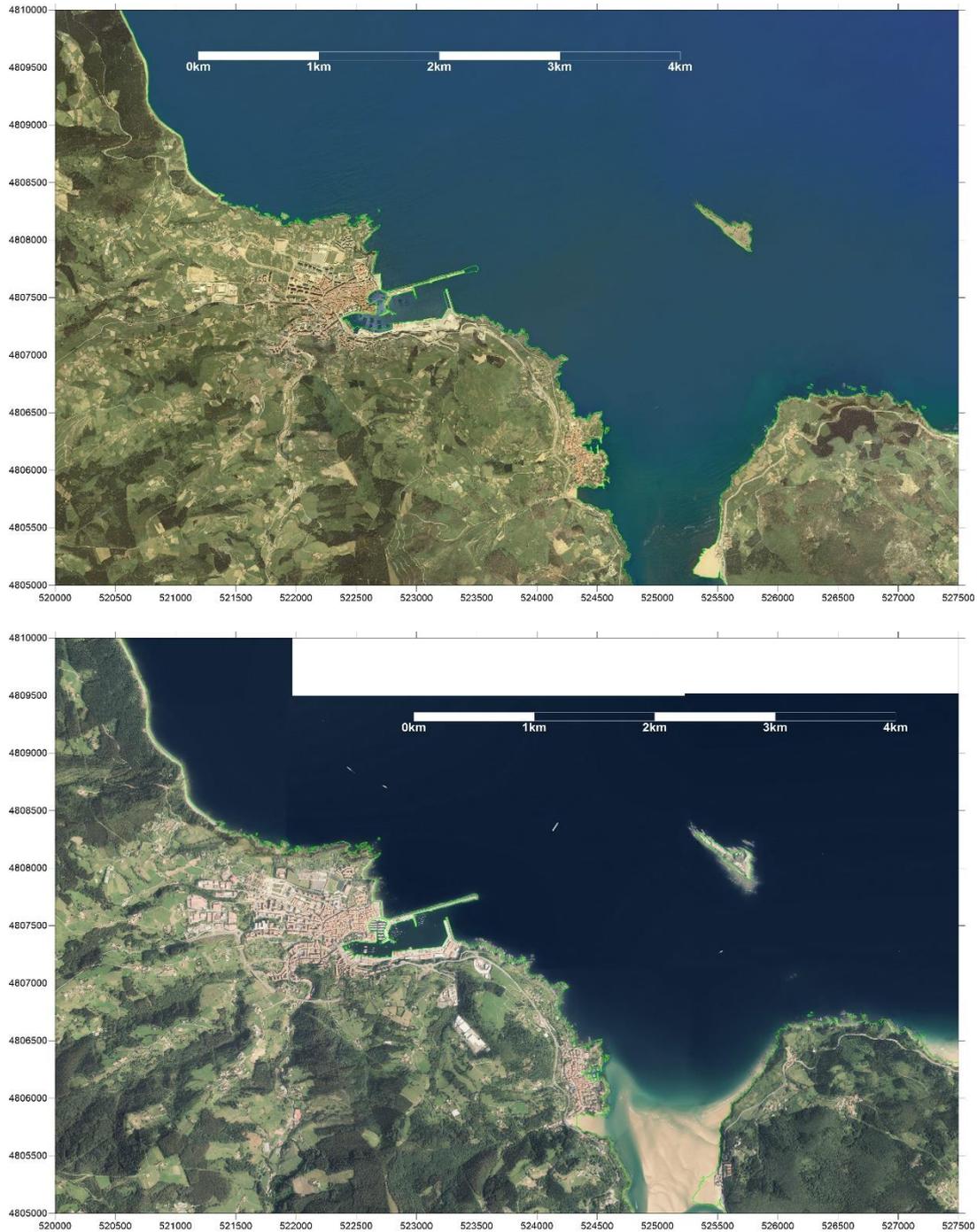


Figura 27. Ortofotos de la zona del puerto de Bermeo antes (1990) y después de la ampliación del dique (configuración actual, 2021). La línea de color verde es la línea de costa actual.

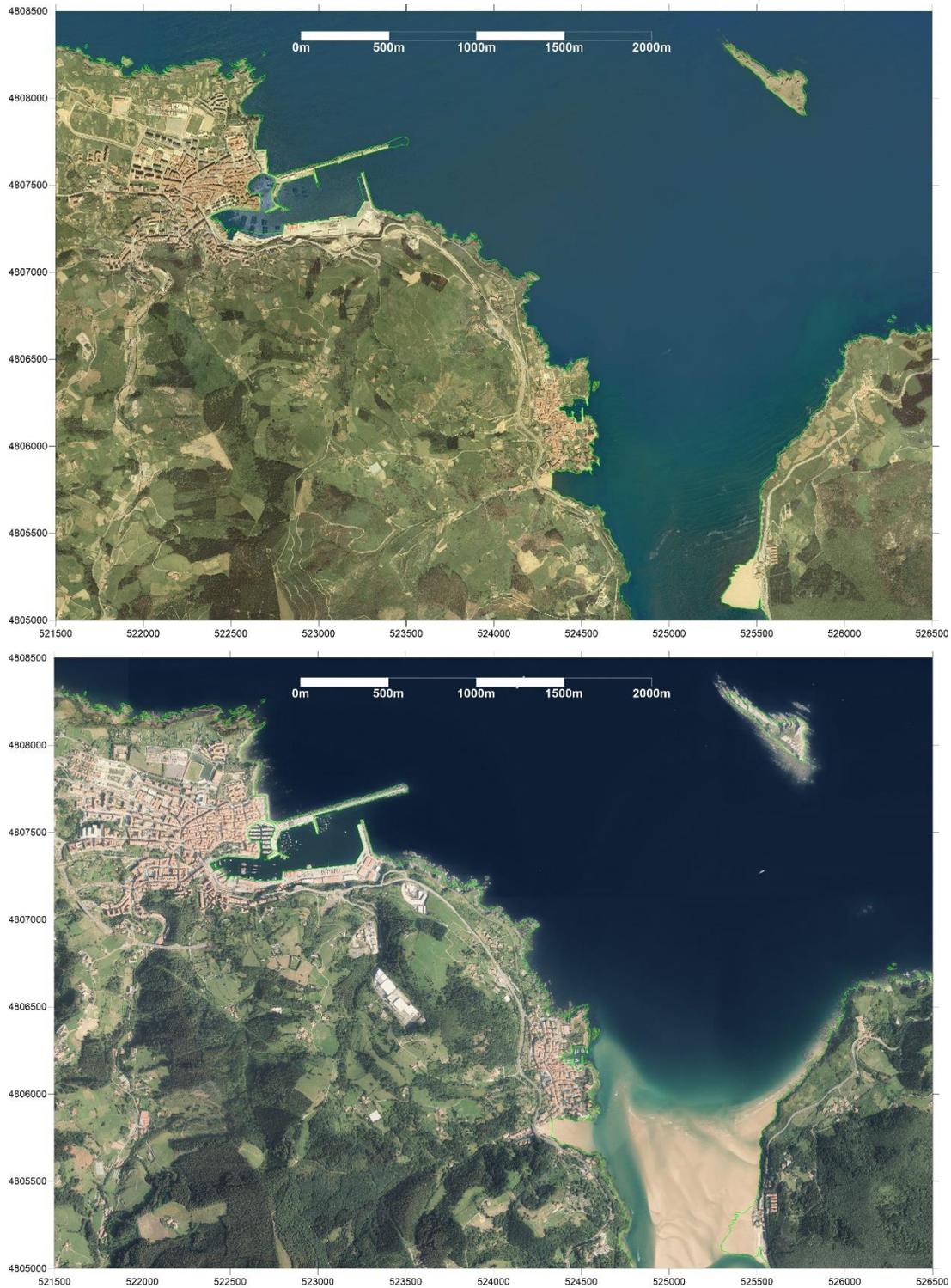


Figura 28. Detalle de las ortofotos de la zona del puerto de Bermeo antes (1990) y después de la ampliación del dique (configuración actual, 2021). La línea de color verde es la línea de costa actual.

8.2 Influencia de la ampliación del puerto en la dinámica litoral

Se presentan los resultados de las simulaciones numéricas de la situación anterior a la ampliación del dique de Bermeo, con las mismas condiciones de marea y de oleaje que las presentadas en el estudio de dinámica litoral de la situación actual (Capítulo 7), para poder observar las diferencias, y así determinar la zona de afección resultando de la ampliación del dique.

8.2.1 Oleaje

De la misma manera que en el capítulo anterior, se muestran los resultados de altura de ola significativa (H_s) en la malla de detalle, obtenidos con el modelo espectral de oleaje, para condiciones medias de oleaje, pero con la configuración del puerto anterior (**Figura 29**, panel de la izquierda). La **Figura 29** (panel de la derecha) muestra las diferencias entre la configuración actual (con la prolongación del dique) y la configuración anterior (sin la prolongación del dique). Se observa que las diferencias más importantes aparecen al sur del puerto de Bermeo, en la zona de difracción y de sombra producida por el dique. Se obtiene que la ampliación del puerto ha producido una reducción de 0.5 m de la altura de ola significativa para condiciones medias en la nueva zona de sombra. Los resultados indican que la ampliación del puerto ha producido efectos locales, y que, además, toda la línea de costa que se encuentra dentro de la zona afectada es un tramo rocoso o el propio contorno sur del puerto.

En consecuencia, no son atribuibles cambios en el transporte sedimentario, en la morfología del estuario y en las zonas adyacentes derivados de los cambios en las características medias del oleaje. Solo se pueden apreciar efectos locales producidos en la zona arenosa de la propia bocana del puerto de Bermeo. Esta hipótesis se verificará también si se confirma en el análisis de corrientes y transporte de sedimento.

La ampliación del dique del puerto ha provocado un cambio en el patrón de difracción del oleaje que se puede analizar con mayor detalle en base a la propagación de un oleaje regular. La **Figura 30** muestra la superficie libre de un tren de oleaje regular para condiciones medias con la configuración anterior a la ampliación del puerto. La diferencia entre la configuración actual y anterior (panel de la derecha) muestra la zona

de afección de la prolongación del dique y las diferencias en el patrón de difracción. Hay que notar que la diferencia máxima observada en toda la zona de afección es de solamente 15 cm.

La **Figura 31** muestra la propagación de un oleaje representativo de condiciones de temporal con una altura de ola significativa de 4.40 m (H_s que solo se supera el 5% del tiempo a lo largo del año). Las diferencias entre la configuración actual (con la ampliación del puerto) y anterior (sin la ampliación del puerto) aparecen principalmente al sur del puerto. El resultado es muy parecido al obtenido con condiciones medias, pero la magnitud es mayor, obteniéndose una reducción de cerca de 1.5 m en la zona de sombra adyacente al dique. La zona en la que se observa un efecto en el patrón de difracción es también más amplia que para un oleaje medio, pero se obtiene que las diferencias entre la configuración actual y anterior se ciñen del mismo modo a la zona cercana al dique (**Figura 32**). Asimismo, del mismo modo que en el régimen medio, la zona de línea de costa en la que el efecto es apreciable es un tramo exclusivamente rocoso.

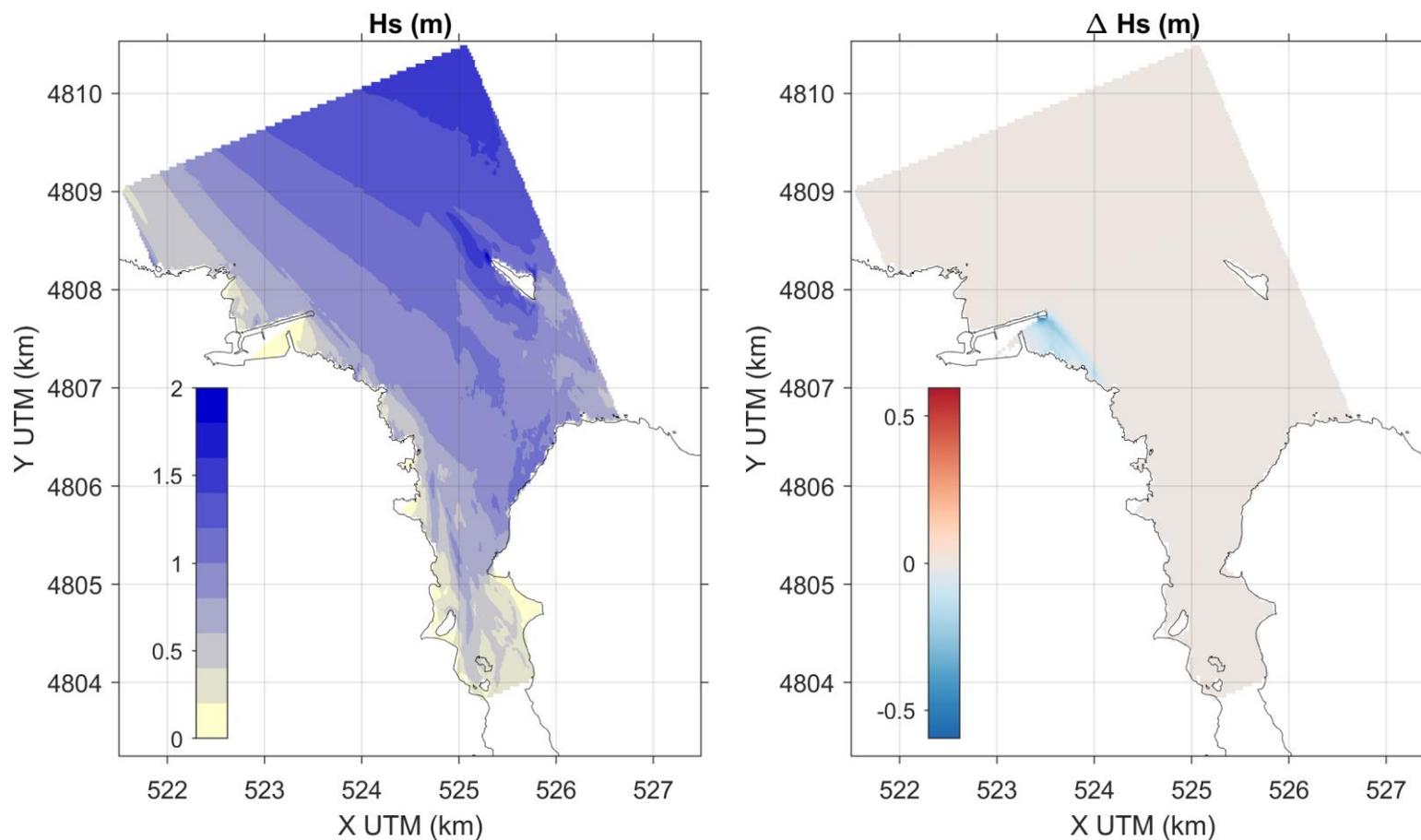


Figura 29. Altura de ola significativa H_s (m) en la malla de detalle con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en H_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas.

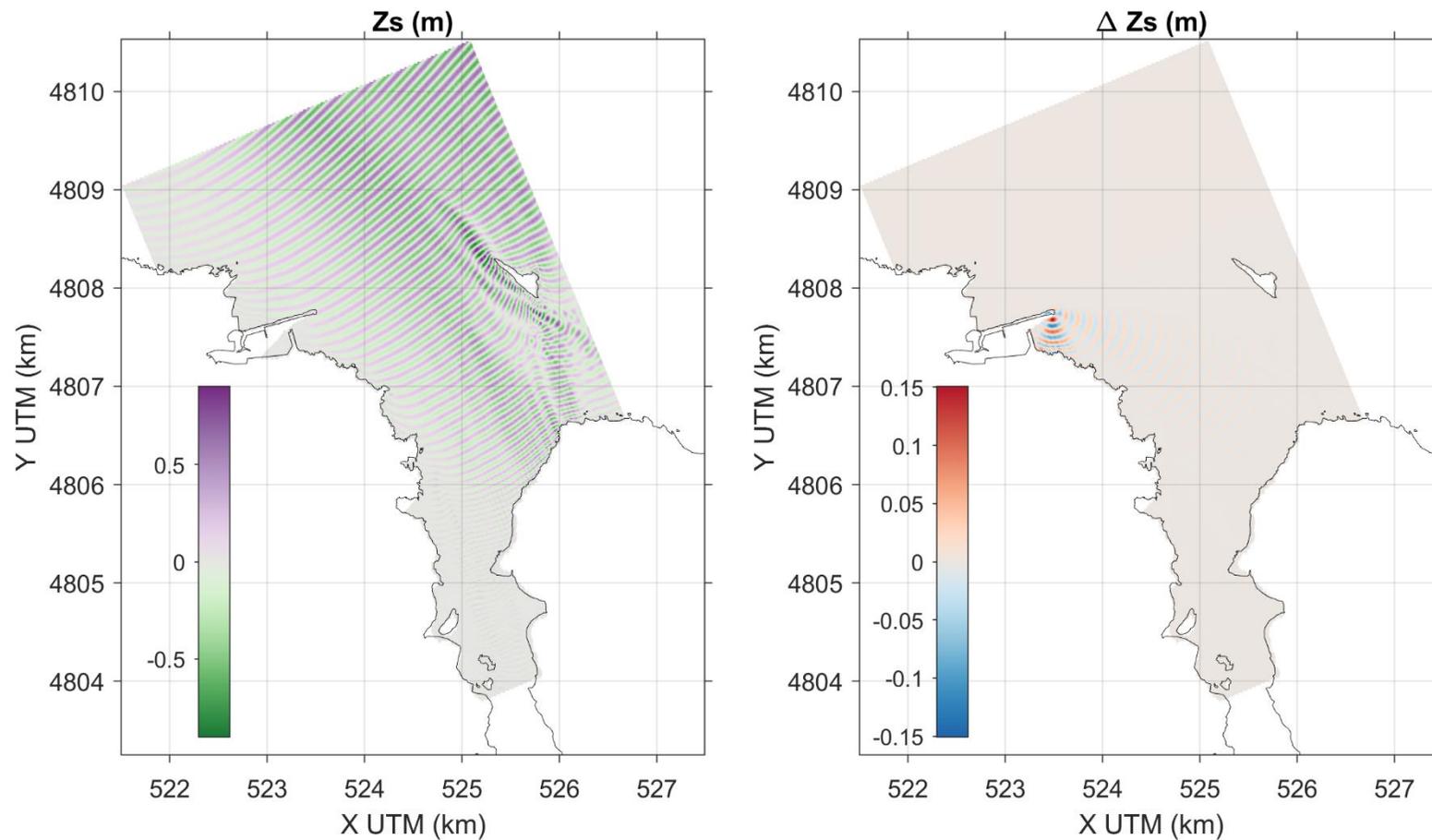


Figura 30. Superficie libre Z_s (m) de un tren de oleaje regular en la malla de detalle con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en Z_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas.

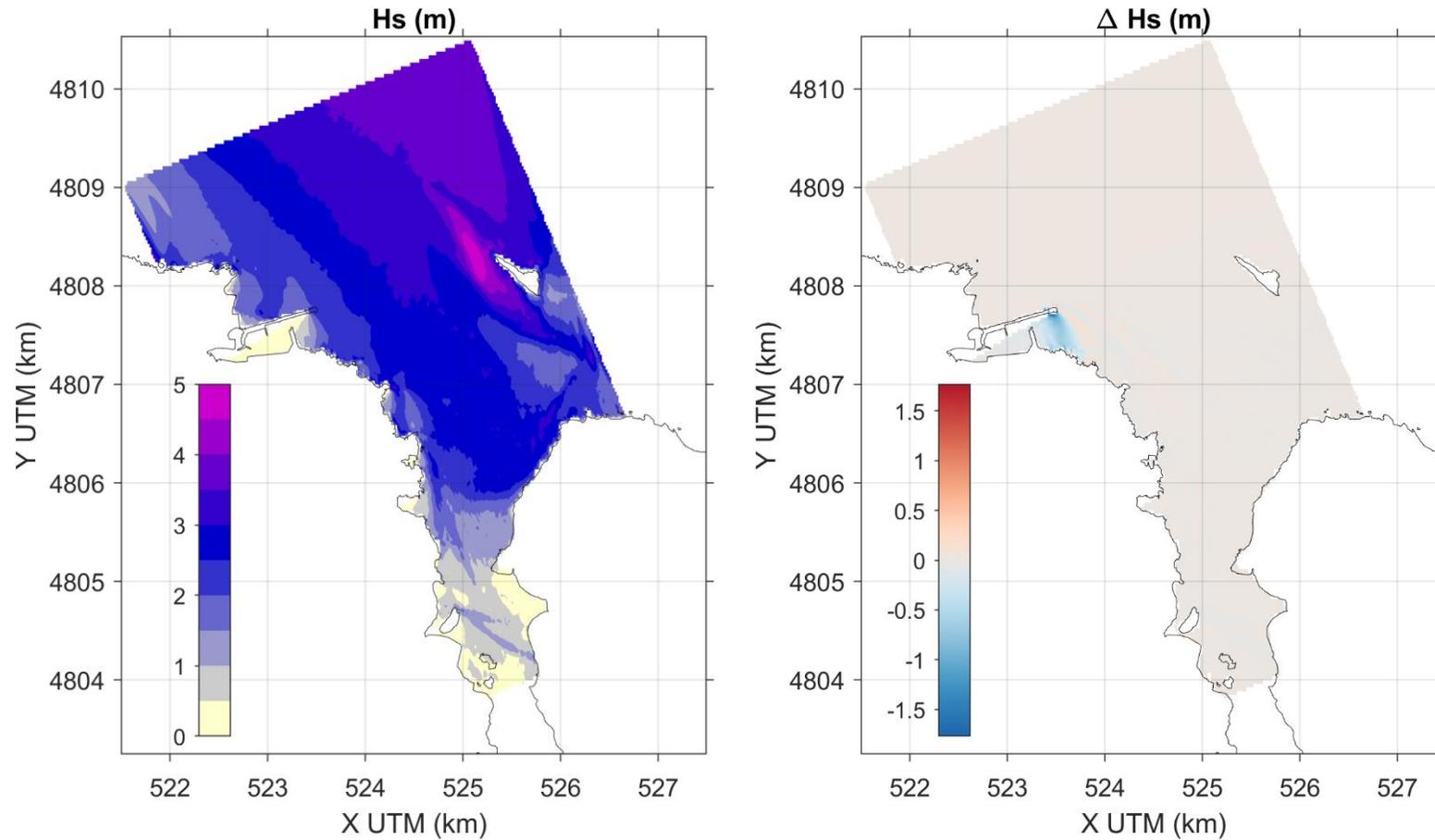


Figura 31. Altura de ola significativa H_s (m) en la malla de detalle con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en H_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Oleaje de temporal, pleamar de mareas vivas.

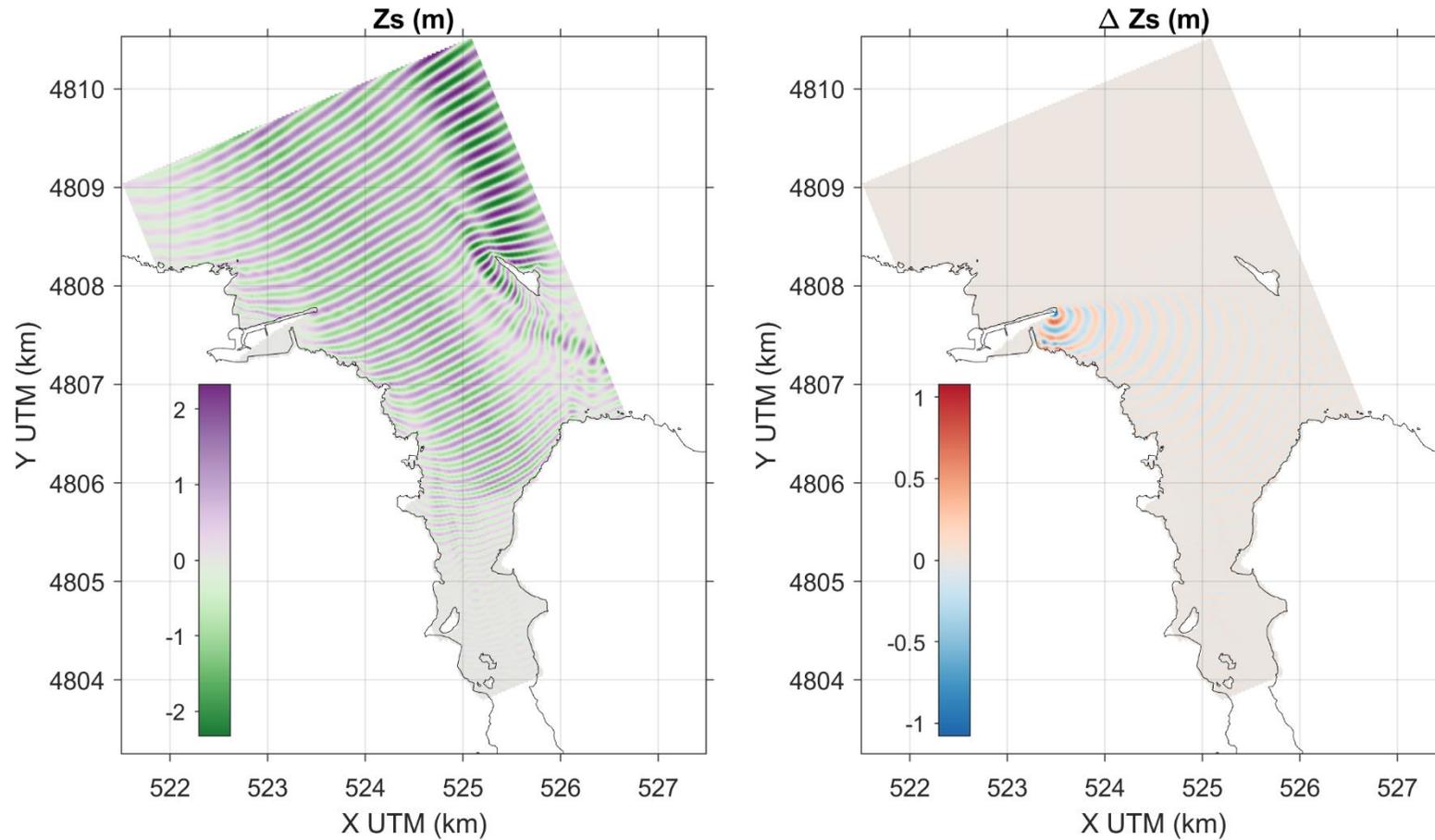


Figura 32. Superficie libre Z_s (m) de un tren de oleaje regular en la malla de detalle con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en Z_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Oleaje de temporal, pleamar de mareas vivas.

8.2.2 Corrientes y transporte sedimentario

La **Figura 33** muestra resultados de la corriente máxima con la configuración anterior a la ampliación del puerto (panel de la izquierda). El panel de la derecha muestra las diferencias entre la situación actual y dicha situación anterior. Se obtiene que las diferencias de corriente ocurren principalmente en la zona cercana al puerto. La prolongación del dique ha producido una ligera reducción de la intensidad de la corriente de hasta 20 cm/s en dicha zona para un oleaje medio. La zona afectada es principalmente de sustrato rocoso, a excepción de la propia bocana del puerto. En las simulaciones, aparecen puntualmente diferencias en otras zonas (p.ej. al SE de la isla de Izaro), pero estos valores son debidos a ruido numérico debido a la alta irregularidad del fondo (zonas rocosas) que no puede ser correctamente reproducida por el modelo.

La **Figura 33** muestra los resultados de la componente transversal del transporte sedimentario medio anual (en m³/m/año) en la zona de estudio, calculado con condiciones medias de oleaje. El panel de la izquierda muestra el transporte para la configuración anterior a la ampliación del dique, y el panel de la derecha muestra las diferencias en el transporte entre la configuración actual y anterior. Se observan muy pocas diferencias, de menos de un orden de magnitud que los valores del transporte característicos del régimen medio. Además, las diferencias aparecen de manera muy puntual, muestran un patrón aleatorio y están asociadas a zonas muy someras por lo que deben interpretarse en todos los casos como ruido numérico. Por lo tanto, se puede concluir que la ampliación del dique no ha cambiado el transporte sedimentario en el estuario para condiciones medias de oleaje.

En un caso de oleaje de temporal (**Figura 34**), las corrientes tienen intensidades mayores, como era previsible, lo que implica mayores diferencias entre la situación actual y anterior a la ampliación del dique. Se observan diferencias de menos de 1 m/s en la zona rocosa cercana al dique y el entorno de la bocana.

Por otra parte, sí se obtienen en este caso diferencias en el patrón de corrientes en el entorno del estuario inferior y la zona sumergida de la playa de Laida en una zona más extensa. Hay que decir, sin embargo, que estas diferencias tienen un patrón aleatorio, y están asociadas a la zona de rompientes saturada durante un temporal, donde no hay

una circulación bien definida. Se deben interpretar por lo tanto como un ruido numérico debido a fenómenos aleatorios de la rotura del oleaje y de la interacción ola / corriente que están implementados en el modelo, y no tiene por lo tanto interpretación física asociada a la actuación objeto de este estudio.

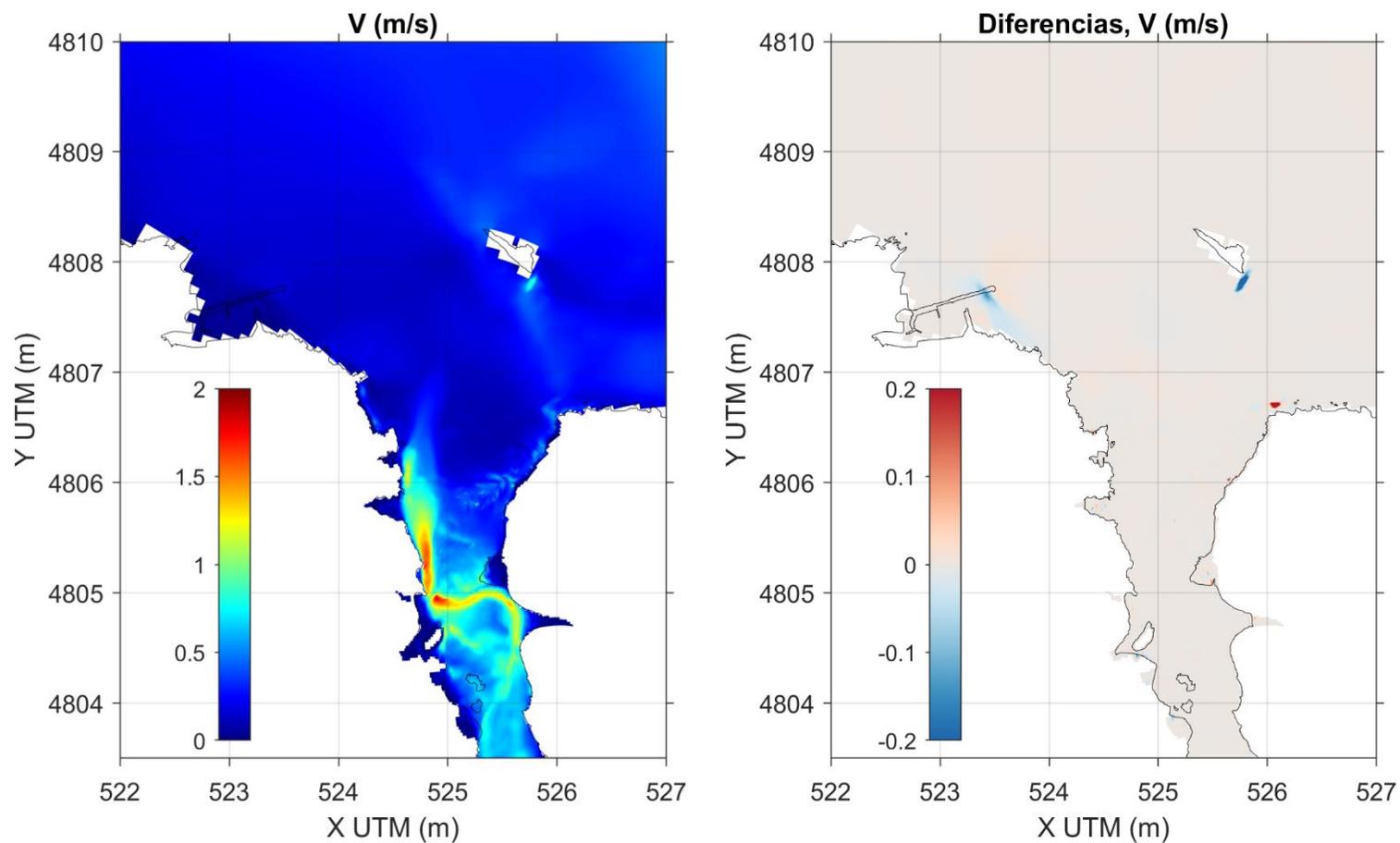


Figura 33. Magnitud de la corriente máxima V (m/s) obtenidas en mareas vivas con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje.

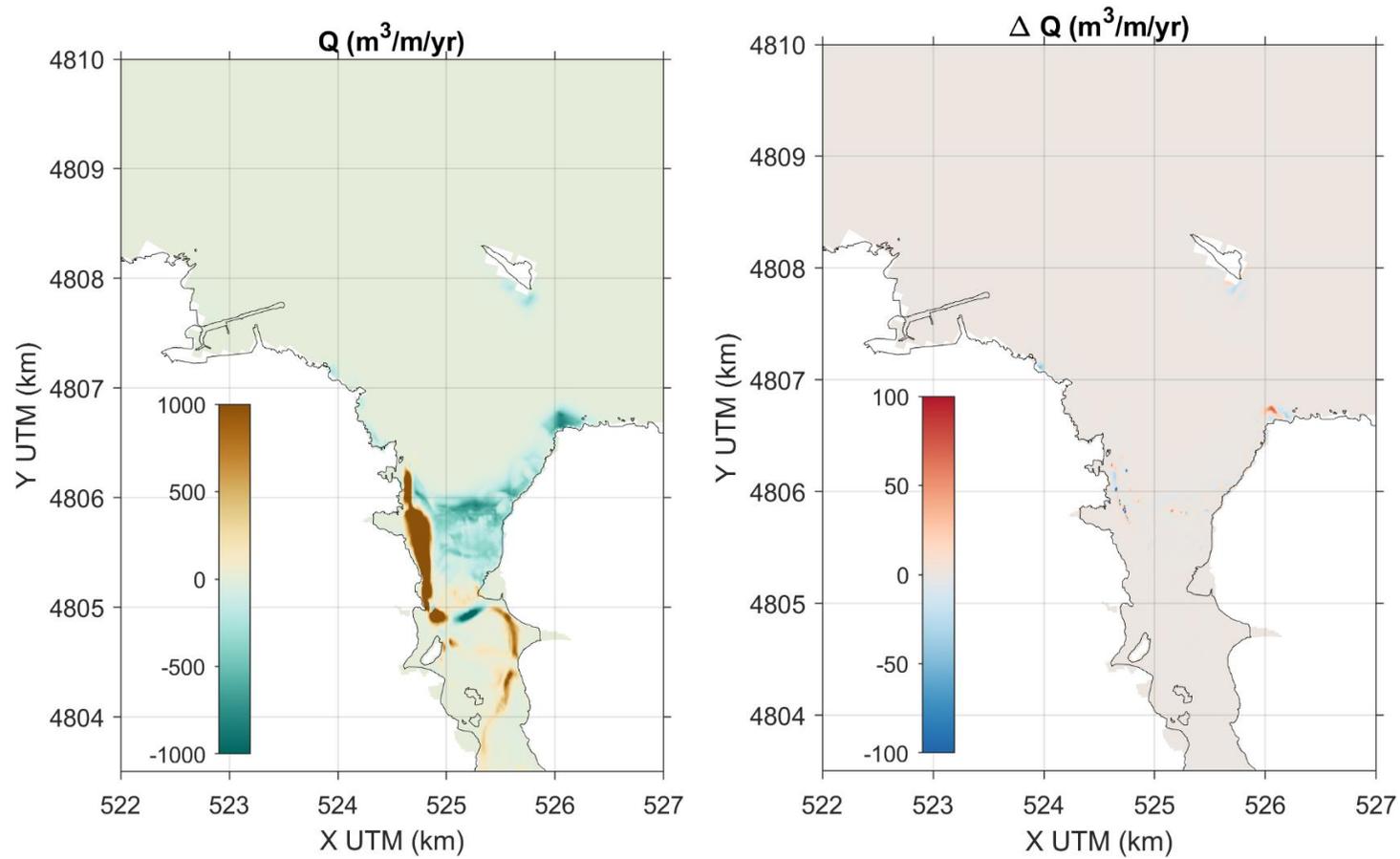


Figura 34. Transporte de sedimento medio anual obtenido en mareas vivas medias $Q \text{ (m}^3\text{/m/año)}$, con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje.

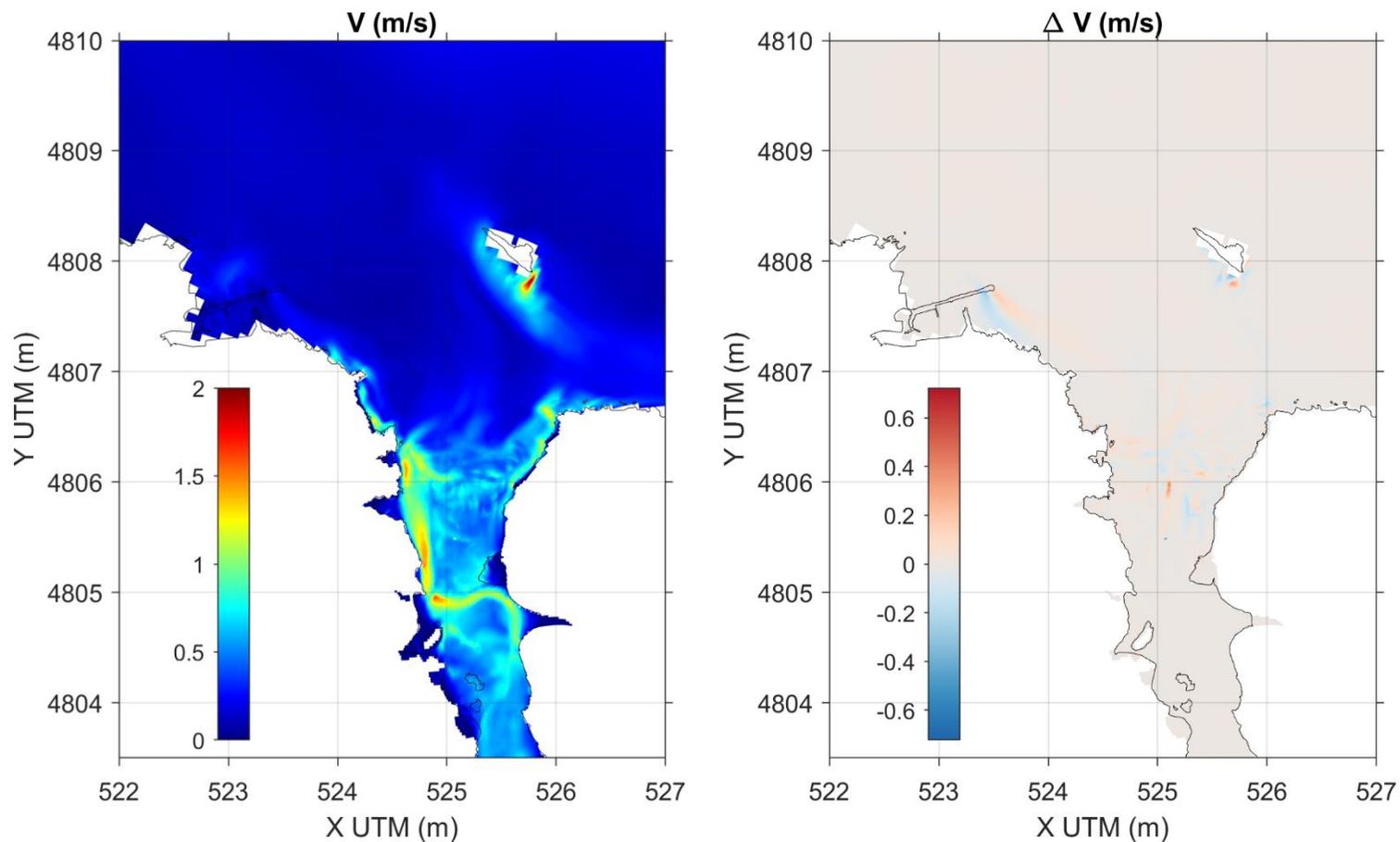


Figura 35. Magnitud de la corriente máxima V (m/s) obtenidas en mareas vivas con la configuración anterior (sin la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Oleaje de temporal.

9. DINÁMICAS RESULTANTES DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los trabajos más recientes desarrollados en la costa vasca sobre efectos del cambio climático marino se han recogido en el proyecto KOSTAEGOKI⁴.

El proyecto KOSTAEGOKI se enmarca en el Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA) Adapta Costas CCAA 2017, del entonces Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - MAPAMA (actualmente Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico) dirigido a las Comunidades Autónomas, para desarrollar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Además, en el estuario del Oka, se ha realizado recientemente un estudio piloto de modelización para analizar su respuesta al cambio climático (Garnier et al., 2022).

La principal hipótesis del análisis de impacto del cambio climático en el estudio PIMA y por ende en KOSTAEGOKI ha sido considerar como principal factor de cambio el ascenso del nivel del mar, asumiendo que el régimen medio del oleaje en la costa vasca no se prevé que sufra una modificación relevante durante el resto del siglo XXI.

Esta hipótesis se justifica base a estudios previos realizados en la región del Atlántico Norte. En particular, predicen cambios mínimos en los valores medios de la altura de ola (Hs), período de pico (Tp), dirección de oleaje (Dir) y marea meteorológica (MM) en el futuro (Camus et al., 2017 y 2019). Por otra parte, a pesar de obtener tendencias positivas en el régimen extremal de oleaje, a partir de los datos de boya en la zona de estudio (Chust et al., 2021; Garnier et al., 2021), los últimos estudios de proyecciones de oleaje extremal indican que no sería esperable un aumento significativo para el resto del siglo XXI (O'Grady et al., 2021).

⁴ <https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo>

9.1 Inundación del estuario

El puerto de Bermeo se sitúa en la parte externa del estuario del Oka, en su margen oeste. El estuario del Oka (**Figura 1**) se localiza en la zona centro-occidental de la costa vasca. En la **Figura 36** se muestra una imagen aérea de este estuario.

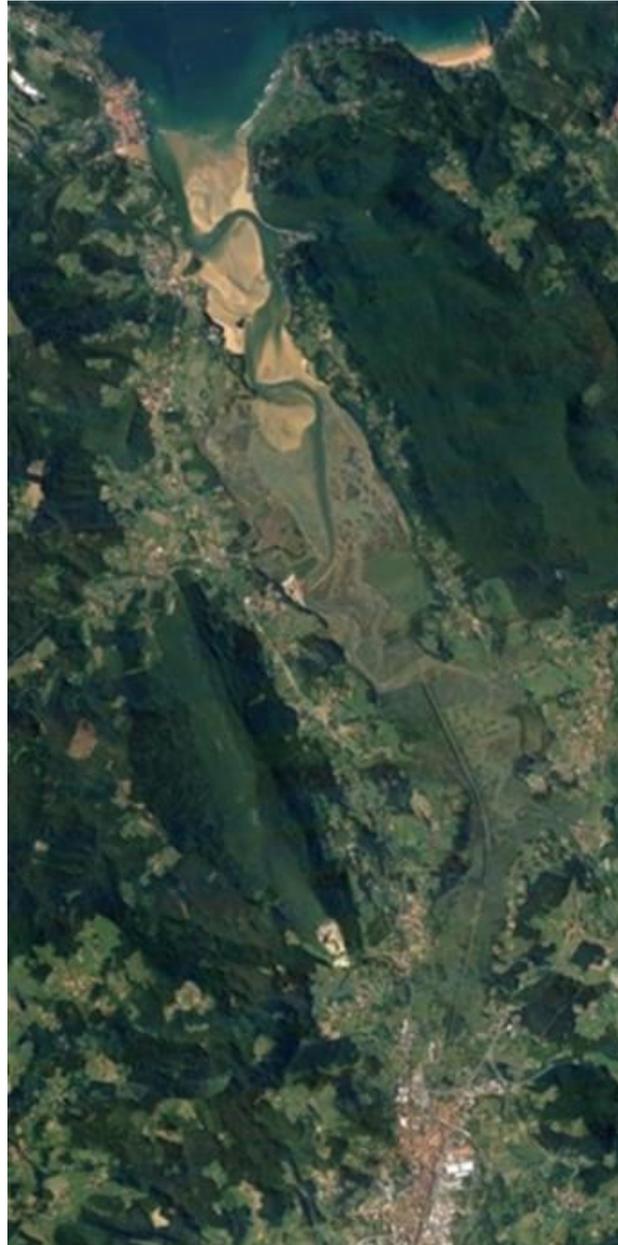


Figura 36. Estuario del Oka

El río que desemboca en este sistema, el Oka, drena un área de 178 km² aproximadamente y tiene un caudal hiperanual medio de 3,6 m³.s⁻¹ (García de Bikuña y Docampo, 1990). Este dato de caudal hace que este estuario sea, junto con el del Nerbioi, los que menor caudal reciben en relación con la superficie de la cuenca drenada. El estuario del Oka tiene una longitud total de unos 12,5 km, siendo el segundo de mayor longitud entre los estuarios vascos. La profundidad varía entre 0 y 10 m dependiendo de la zona y el estado (pleamar-bajamar) y los ciclos de la marea (vivas-muertas). Además, se trata del segundo estuario vasco de mayor superficie

En lo que respecta a la superficie original que presentaba este estuario (en el Postflandriense) cabe destacar que se conserva más del 70% (Rivas y Cendrero, 1992). Toda la superficie perdida por el estuario, algo más de 300 ha, ha sido por acción antrópica. Pero hemos de destacar el hecho de que la mayor parte de la superficie actual del estuario es intermareal, casi un 70% (Rivas y Cendrero, 1992), lo cual da una idea de que la influencia antrópica en este estuario está muy lejos de la sufrida por otros estuarios del litoral vasco. El volumen del estuario del Oka estimado es de 3,29.10⁶ m³ (Villate et al., 1989), pudiéndose agrupar dentro de la categoría de estuarios “intermedios” en el contexto del País Vasco junto con los del Bidasoa, Oiartzun y Oria. El prisma de marea del estuario del Oka es el mayor del País Vasco, con casi 11.10⁶ m³ cúbicos (**Tabla 2**, Valencia et al., 2004).

Estudios como Ruiz de Alegría, 2005 y Monge-Ganuzas et al., 2013 han realizado un seguimiento histórico de la evolución del estuario del Oka, así como de las distintas actuaciones antrópicas llevadas a cabo durante las últimas décadas sin mención específica al proyecto de ampliación de los últimos 100 m del dique de Bermeo objeto de este informe. En Monge-Ganuzas et al., 2013, se recopila y agrupa la evolución morfológica del estuario del Oka, así como las actuaciones antropogénicas, fundamentalmente dragados en los canales del estuario y vertido en la playa de Laida, en distintos periodos de tiempo para poder estudiar la importancia y el peso de las mismas en relación a los cambios morfosedimentarios más significativos. En este estudio, es especialmente interesante observar los años previos al primer dragado, (1957-1971). Hay que destacar que la fecha inicial coincide, aproximadamente, con la situación posterior a un gran temporal ocurrido en 1952, el cual, históricamente se relaciona con la desaparición de las dunas vegetadas de Laida.

En cuanto a los posibles efectos del cambio climático, en el proyecto KOSTAEGOKI se realizó un análisis de evolución de los principales elementos morfológicos de los estuarios del País Vasco frente al ascenso del nivel medio del mar previsto para 2050 y 2100⁵.

Los resultados de KOSTAEGOKI indican que los efectos del cambio climático sobre los bajos interiores del estuario del Oka serán relativamente moderados en comparación con el resto de los estuarios vascos. Sin embargo, elementos morfológicos del Oka como la sección crítica de la bocana del estuario, el bajo exterior y los canales mareales tendrán un notable cambio por efecto del ascenso del nivel medio del mar.

⁵ <https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo>

Tabla 2. Parámetros morfológicos de los principales estuarios vascos (Valencia et al., 2004).

	Prisma de marea (Ω) en miles m^3	Área de la sección crítica (A_c) en miles m^2	Volumen del bajo exterior (V) en miles m^3	Volumen de los canales mareales (V_{MLW}) en miles m^3	Área de los canales mareales (A_{MLW}) en miles m^2	Área de la bahía (A_b) en miles m^2	Área de los bajos interiores (A_f) en miles m^2	Volumen de los bajos interiores (V_f) en miles m^3
Nerbioi	10.042	1.468	87	8.557	1.890	2.821	931	2.036
Butroi	2.048	181	4,0	33	59,4	868	808	1.525
<i>Oka</i>	<i>10.830</i>	<i>514</i>	<i>101</i>	<i>372</i>	<i>443,5</i>	<i>7.591</i>	<i>7.147</i>	<i>2.041</i>
Artibai	263	229	0,07	64	37,2	91	54	1120
Deba	641	221	0,42	148	64,3	296	232	590
Urola	1.771	107	3,0	352	226,2	536	310	488
Urumea	1.753	435	2,9	686	275,2	563	288	630
Oiartzun	3.799	5.695	13,2	5.444	795,2	955	160	333
Bidasoa	9.540	2.129	78,8	6.482	1.904	2.533	629	1.360

Tabla 3. Estimación de los efectos del cambio climático sobre diferentes elementos morfológicos de los estuarios vascos en los años horizonte 2050 y 2100 por el ascenso del nivel medio del mar.

	Déficit de volumen de los bajos interiores		Incremento de la sección crítica de la desembocadura		Incremento del volumen del bajo exterior		Incremento del volumen de los canales mareales	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Nerbioi	0,09	0,34	0,02	0,07	0,04	0,14	0,03	0,11
Butroi	0,11	0,40	0,08	0,30	0,16	0,65	0,13	0,50
Oka	0,07	0,26	0,13	0,49	0,27	1,18	0,21	0,88
Artibai	0,09	0,34	0,04	0,15	0,08	0,32	0,06	0,25
Deba	0,08	0,29	0,07	0,27	0,15	0,59	0,12	0,46
Urola	0,13	0,48	0,03	0,13	0,07	0,27	0,06	0,21
Urumea	0,09	0,34	0,03	0,12	0,06	0,25	0,05	0,20
Oiartzun	0,10	0,36	0,01	0,03	0,02	0,06	0,01	0,05
Bidasoa	0,09	0,35	0,01	0,05	0,03	0,10	0,02	0,08

En el proyecto KOSTAEGOKI se analizó el incremento de áreas inundables en toda la costa vasca por efecto del cambio climático.

Los efectos considerados fueron el nivel del mar instantáneo (combinación de marea astronómica y marea meteorológica) y el efecto del oleaje (que en esta zona de estudio puede considerarse despreciable) asociados a dos períodos de retorno, T_r , (100 y 500 años), y las situaciones de nivel del mar actual y los previstos para 2050 (+26 cm) y para 2100 (+51 cm, escenario optimista, +70 cm, escenario realista, y +100 cm, escenario pesimista).

Para ello además de las cotas de inundación (en cada escenario de nivel medio del mar y para 100 y 500 años de período de retorno) se empleó como información de base los Modelos Digitales del Terreno de GeoEuskadi del año 2016.

En la **Figura 37** pueden verse las zonas en riesgo de inundación en el escenario actual de nivel medio del mar y nivel instantáneo de marea astronómica y meteorológica de período de retorno 100 años (imagen superior), la zona de inundación a 2050 con +26 cm de ascenso del nivel medio del mar y T_r de 100 años (imagen central), y la zona de inundación a 2100 con +70 cm y T_r de 100 años (imagen inferior).

Como puede comprobarse la mayor parte del estuario, especialmente la zona interior, según los resultados obtenidos en KOSTAEGOKI, se encuentra en riesgo de inundación ya en el escenario actual, ampliándose, evidentemente, la extensión de las zonas inundables cuando el nivel del mar asciende.

Los resultados de dinámica litoral han mostrado que la ampliación del dique del puerto ha modificado la dinámica localmente, y, por lo tanto, no tiene implicación en la inundación global del estuario ni en el estado actual, ni en el estado futuro en un contexto de cambio climático. Para comprobarlo, se presenta en la Sección 9.2 los resultados del estudio de dinámica litoral para evaluar los efectos de la ampliación del puerto en una situación futura, horizonte 2100. Por otra parte, se ha visto que la ampliación del dique ha permitido reducir el oleaje localmente al sur del puerto, lo que reduce la peligrosidad de inundación en esta parte. Queda por determinar, el riesgo de rebase en la zona ampliada del dique (ver Sección 9.3).

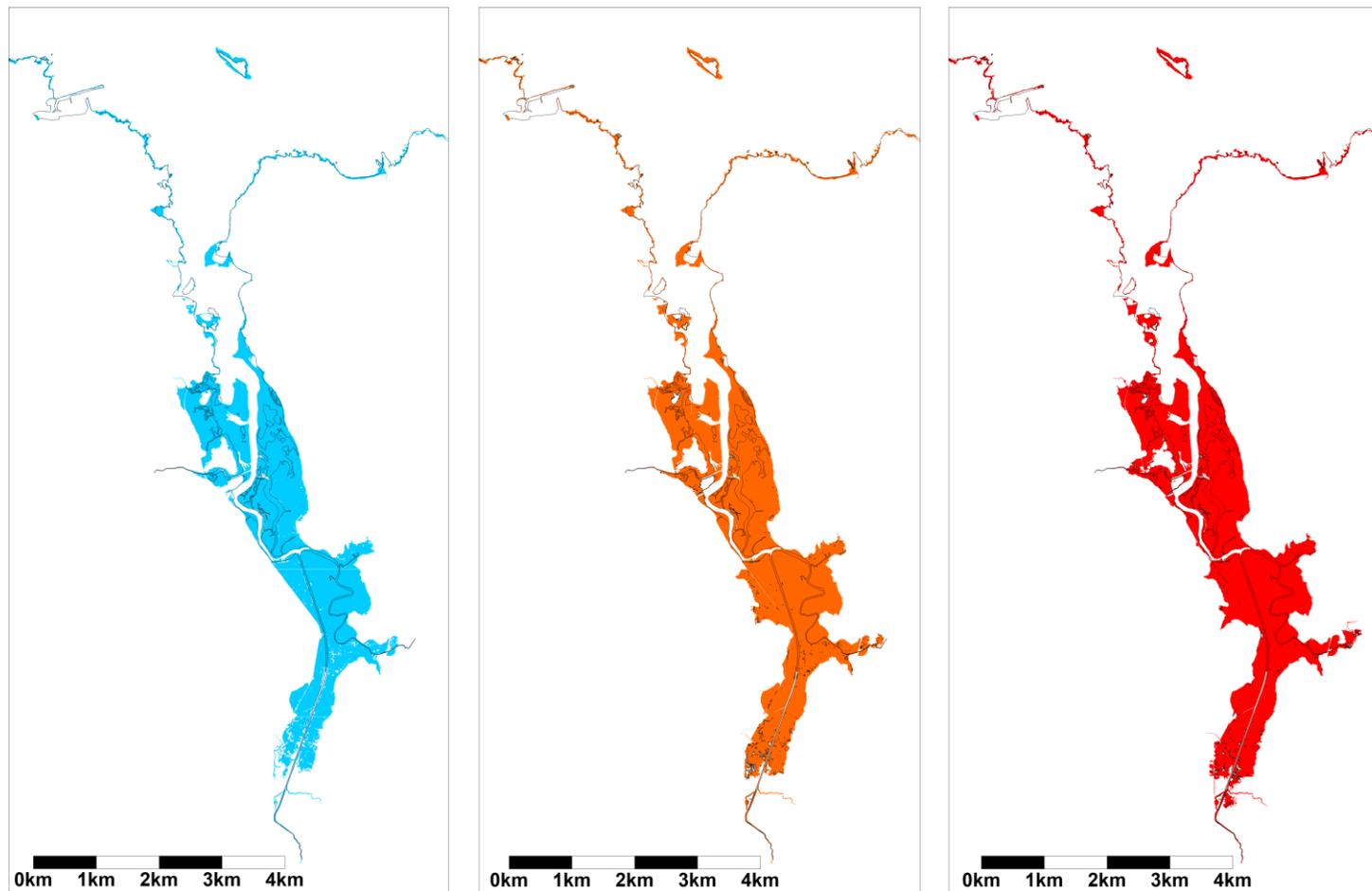


Figura 37. Manchas de inundación para período de retorno 100 años. A la izquierda se muestra el caso con el nivel medio del mar actual, en la imagen central el caso con el nivel medio del mar previsto para 2050 (+26 cm respecto al actual) y a la derecha la previsión para 2100 con +70 cm respecto al nivel actual.

9.2 Dinámica del estuario

En esta sección se presenta un resumen de los resultados de la dinámica litoral y del estudio de los efectos de la ampliación del dique en la zona de estudio incluyendo todo el estuario del Oka, considerando los efectos del cambio climático. Dado que, como se ha explicado anteriormente, los últimos resultados de proyección climática en la zona indican que no hay tendencias significativas en el régimen medio y en el régimen extremal de oleaje, se consideran los regímenes de oleaje actuales, pero se incluyen los últimos resultados de las proyecciones de aumento de nivel del mar. Se presenta a continuación un escenario de cambio climático con un nivel alto de emisiones, y, en particular, se considera un valor alto de la banda de confianza. A partir de los últimos resultados del IPCC (AR6, Fox-Kemper et al., 2021) se considera un aumento de nivel medio del mar de 1 m, para el horizonte 2100 (valor alto del escenario SSP5-8.5), lo que corresponde al caso más pesimista presentado en la Sección 9.1.

Las figuras siguientes presentan los resultados de un análisis similar al análisis realizado en la Sección 8, pero considerando un aumento de nivel del mar de 1 m. Los paneles de la izquierda muestran resultados de oleaje, corrientes y transporte de sedimento con la configuración actual del dique, mientras que los paneles de la derecha muestran las diferencias entre la configuración actual y la configuración anterior, es decir, sin la prolongación del dique.

Estos resultados permiten analizar con detalle el efecto que ha producido la ampliación del dique, en la dinámica futura del estuario y de la zona del puerto, considerando los efectos del cambio climático. Los resultados muestran que las diferencias en la dinámica obtenidas con un aumento de nivel del mar de 1 m son muy parecidas a las diferencias obtenidas con el nivel del mar actual (Sección 8). Similarmente, las diferencias se producen en la zona cercana al puerto de Bermeo, en una zona rocosa, y en la bocana del puerto. Además, de manera general, con un aumento de nivel del mar de 1 m, se producen diferencias debido a la ampliación del puerto con una magnitud ligeramente menor que las diferencias obtenidas con el nivel del mar actual.

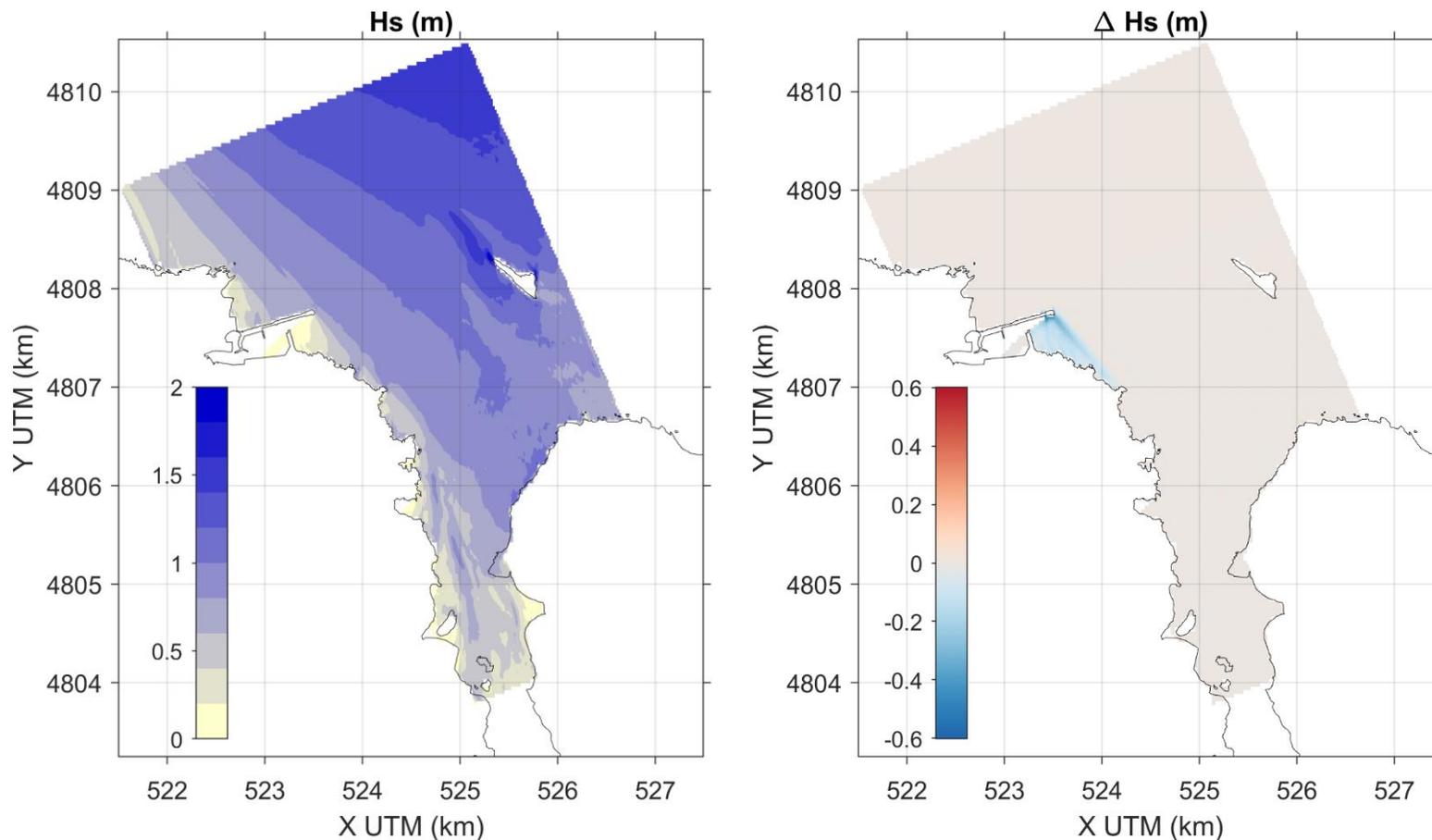


Figura 38. Altura de ola significativa H_s (m) en la malla de detalle con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en H_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas y aumento de nivel del mar de 1 m.

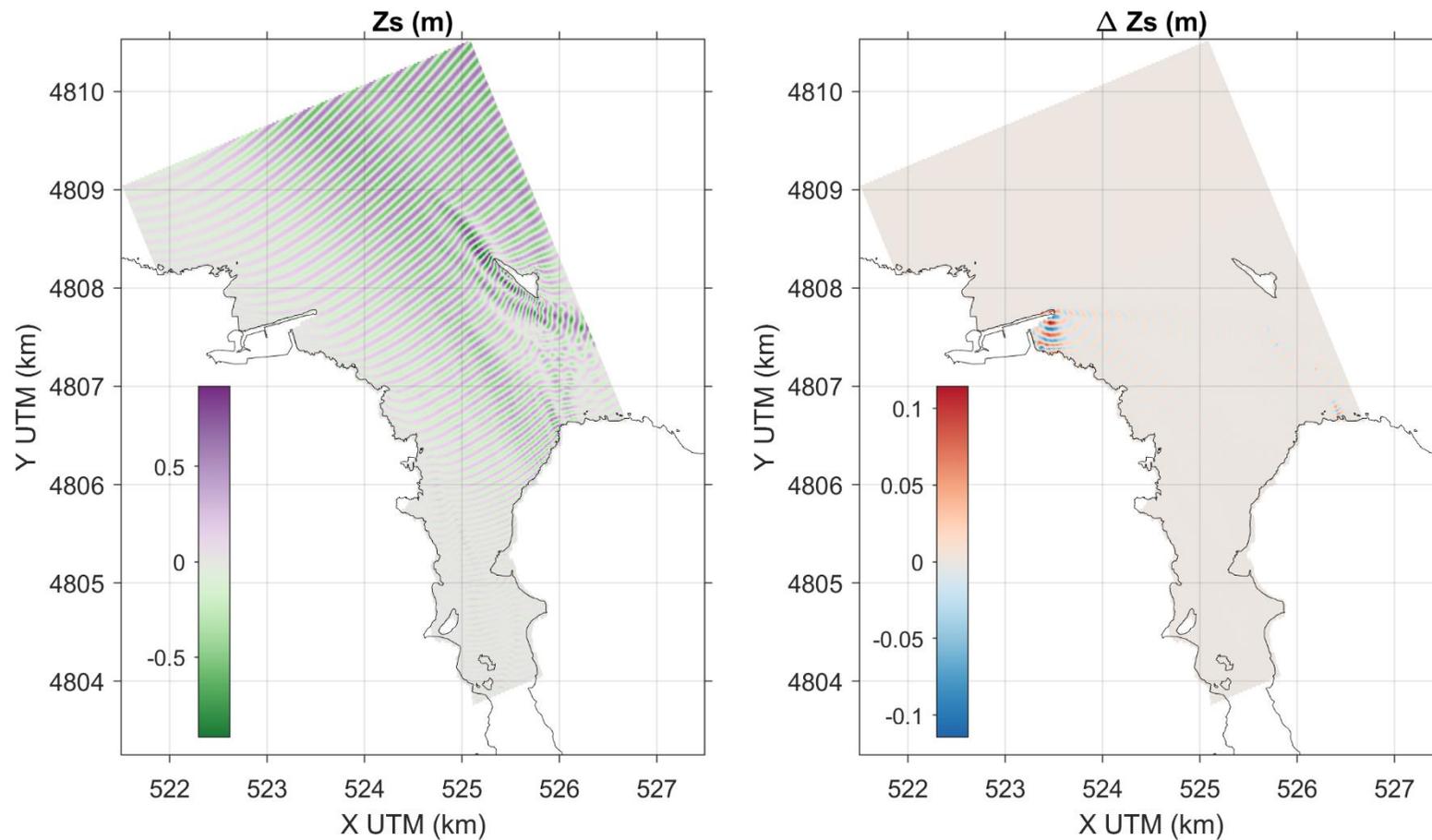


Figura 39. Superficie libre Z_s (m) de un tren de oleaje regular en la malla de detalle con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en Z_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje, pleamar de mareas vivas y aumento de nivel del mar de 1 m.

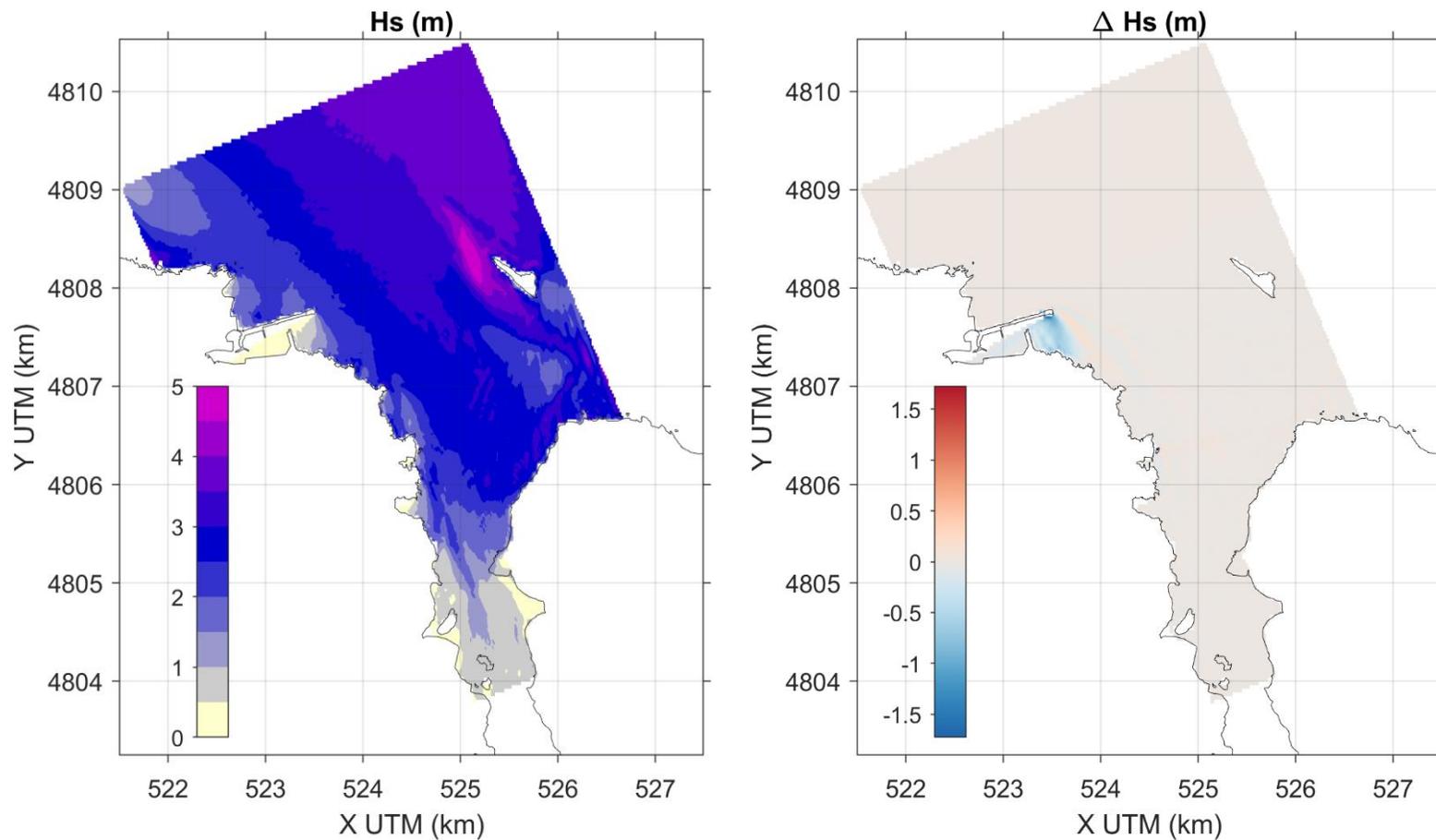


Figura 40. Altura de ola significativa H_s (m) en la malla de detalle con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias en H_s entre la configuración actual y anterior (derecha). Oleaje de temporal, pleamar de mareas vivas y aumento de nivel del mar de 1 m.

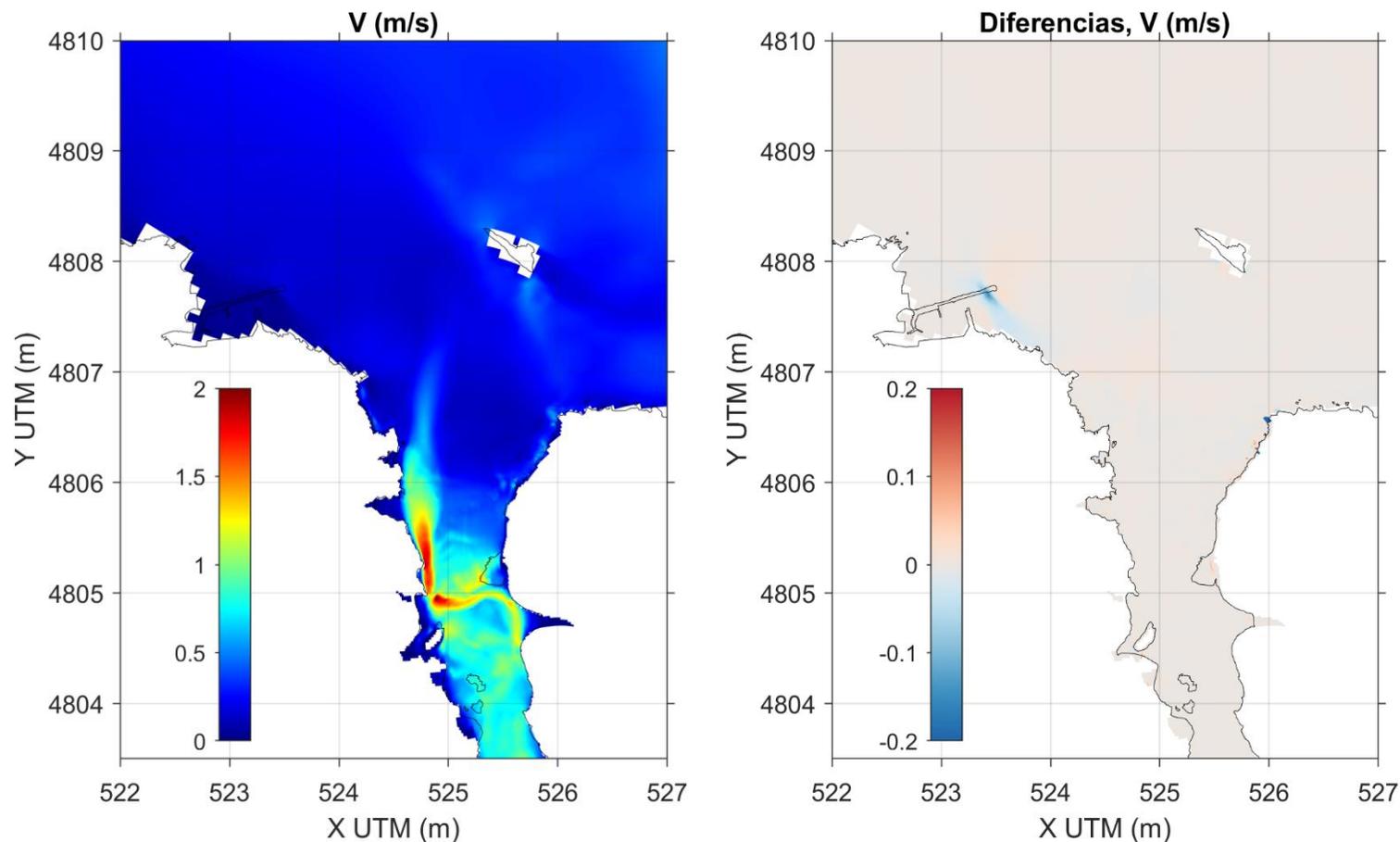


Figura 41. Magnitud de la corriente máxima V (m/s) obtenidas en mareas vivas con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje y aumento de nivel del mar de 1 m.

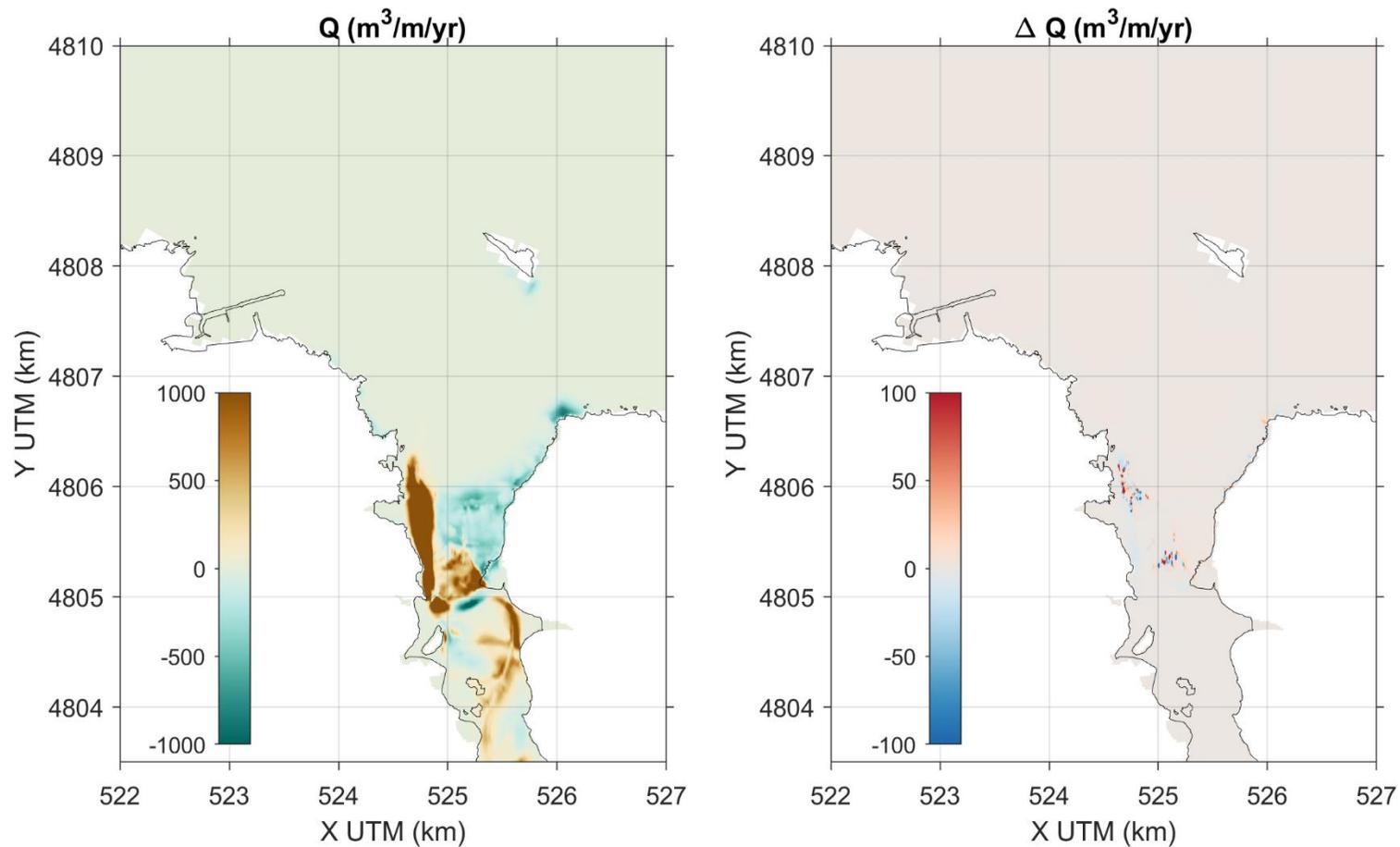


Figura 42. Transporte de sedimento medio anual obtenido en mareas vivas medias $Q \text{ (m}^3\text{/m/año)}$, con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Condiciones medias de oleaje y aumento de nivel del mar de 1 m.

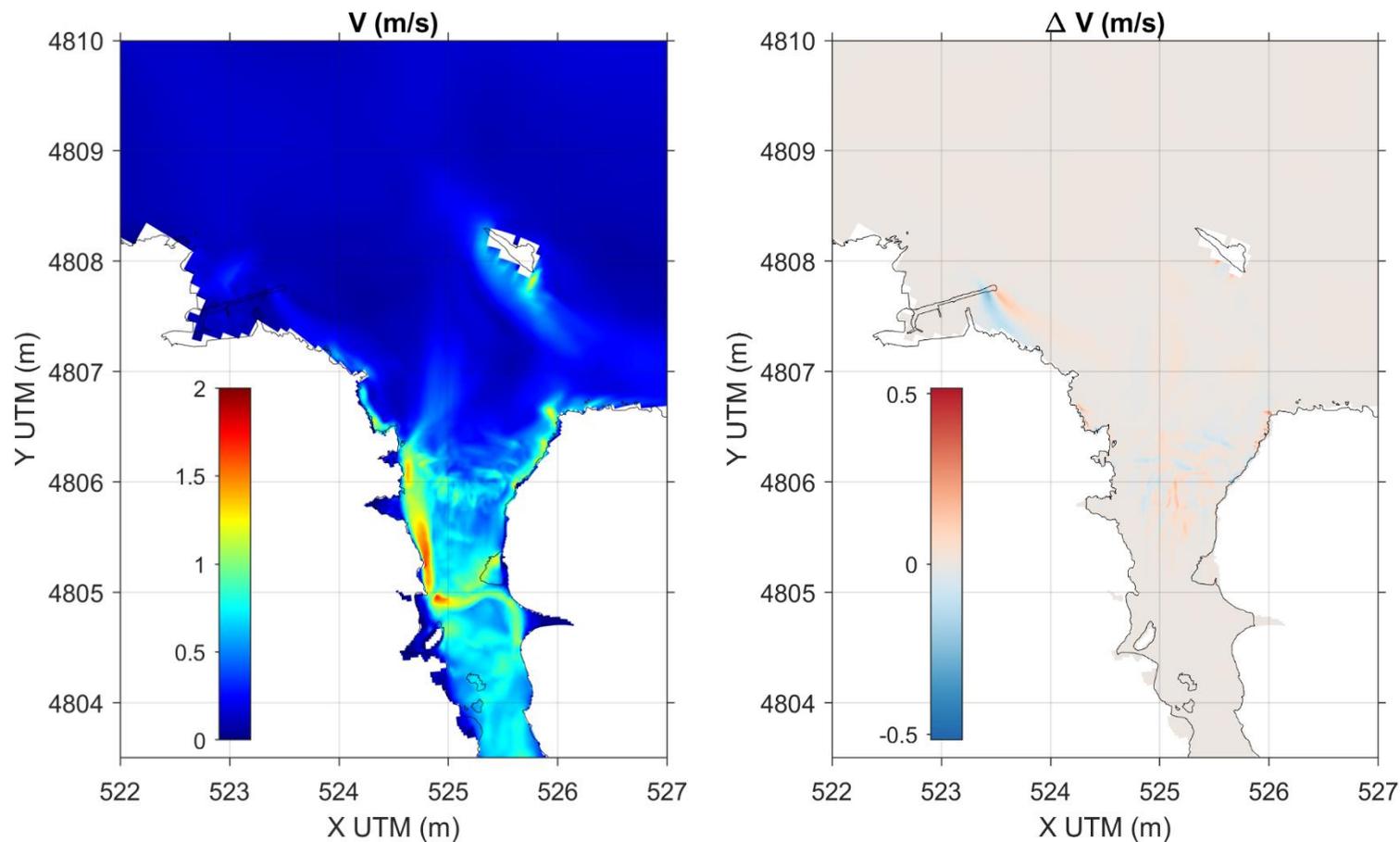


Figura 43. Magnitud de la corriente máxima V (m/s) obtenidas en mareas vivas con la configuración actual (con la prolongación del dique, izquierda), y diferencias de velocidades entre la configuración actual y anterior (derecha). Oleaje de temporal y aumento de nivel del mar de 1 m.

9.3 Inundación y Rebase en el dique del puerto

En el ámbito de los proyectos KOSTAEGOKI⁶ y Life UrbanKlima⁷ se han desarrollado diferentes estudios sobre el impacto del ascenso del nivel del mar en los entornos portuarios y en las zonas urbanas adyacentes en el ámbito de la costa vasca y en particular, en la zona portuaria de Bermeo y su entorno urbano.

El puerto de Bermeo⁸ se encuentra en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai y está al oeste del cabo de Matxitxako. Bermeo (~16.700 habitantes) es el único puerto dependiente del Gobierno Vasco con tráfico de mercancías y uno de los principales puertos pesqueros del País Vasco. Alberga una dársena de recreo situada en el puerto viejo (Portu Zaharra), en pleno casco urbano (**Figura 44**). Más de la mitad de la población (unas 9.000 personas) del municipio mora a menos de 500 m del puerto.



Figura 44. Localización del puerto de Bermeo y distribución de la población del municipio en función de la distancia al puerto.

En la **Figura 45** pueden verse las zonas en riesgo de inundación por marea astronómica, meteorológica y oleaje en Bermeo con el nivel del mar actual. La imagen superior corresponde al nivel del mar asociado al período de retorno (T_r) de 100 años y la imagen inferior es la de T_r 500 años. El último tramo del dique de abrigo del puerto en buena parte es una zona bajo riesgo de inundación puntual con efecto de la marea y el oleaje.

⁶ <https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo>

⁷ <https://www.urbanklima2050.eu/es/resultados/>

⁸ <https://www.ekpsa.eus/es/nuestros-puertos/detalle.php?id=6>



Figura 45. Superficie del puerto de Bermeo afectada por inundación. Arriba pueden verse los resultados del Escenario 1: Tr = 100 años, clima presente y abajo el Escenario 2: Tr = 500 años, clima presente.

En la **Figura 46** pueden verse los mismos resultados, pero para el caso del nivel del mar previsto en 2050, 26 cm más alto que el actual. Puede verse que en el escenario actual y el previsto para 2050, la extensión de las zonas potencialmente afectadas por inundación es relativamente similar, siendo estas zonas inundables la dársena de Portu Zaharra y la zona situada más al oeste del puerto donde se ubican los carros varadero y Astilleros de Bermeo.



Figura 46. Superficie del puerto de Bermeo afectada por inundación. Arriba pueden verse los resultados del Escenario 3: Tr = 100 años, 2050, +26 cm; y abajo el Escenario 4: Tr = 500 años, 2050, +26 cm.

Los resultados para los casos de ascenso de nivel del mar de 70 cm se pueden ver en la **Figura 47**. Este escenario de ascenso de nivel del mar supone un aumento muy notable de las zonas bajo riesgo de inundación, sobre todo en las explanadas de la parte sur del puerto, afectando eventualmente a instalaciones como Consignatarios.



Figura 47. Superficie del puerto de Bermeo afectada por inundación. Arriba pueden verse los resultados Escenario 6: Tr = 100 años, 2100, +70 cm; y abajo el Escenario 8: Tr = 500 años, 2100, +70 cm.

Con el nivel del mar actual, el área del puerto y del casco urbano de Bermeo susceptible de inundación se sitúa entre 3,95 ha para Tr 100 años y 4,05 ha para Tr 500 años. Un ascenso del nivel medio del mar de 26 cm, como el previsto para el año 2050, supondría un leve aumento de las áreas en riesgo de inundación, alcanzando 4,36 ha para Tr 100 años y 4,47 ha para Tr 500 años. Si consideramos el año horizonte 2100, con un

ascenso del nivel del mar de 70 cm, para períodos de retorno de 100 años el área en riesgo de inundación aumentaría ligeramente respecto a los escenarios anteriores, llegando a 5,42 ha; para el Tr de 500 años el incremento de área en riesgo es mucho mayor llegando a 8,23 ha.

Para el puerto de Bermeo en el proyecto KOSTAEGOKI se analizó el efecto del oleaje sobre el dique de abrigo en la serie de puntos que pueden verse en la **Figura 48**.

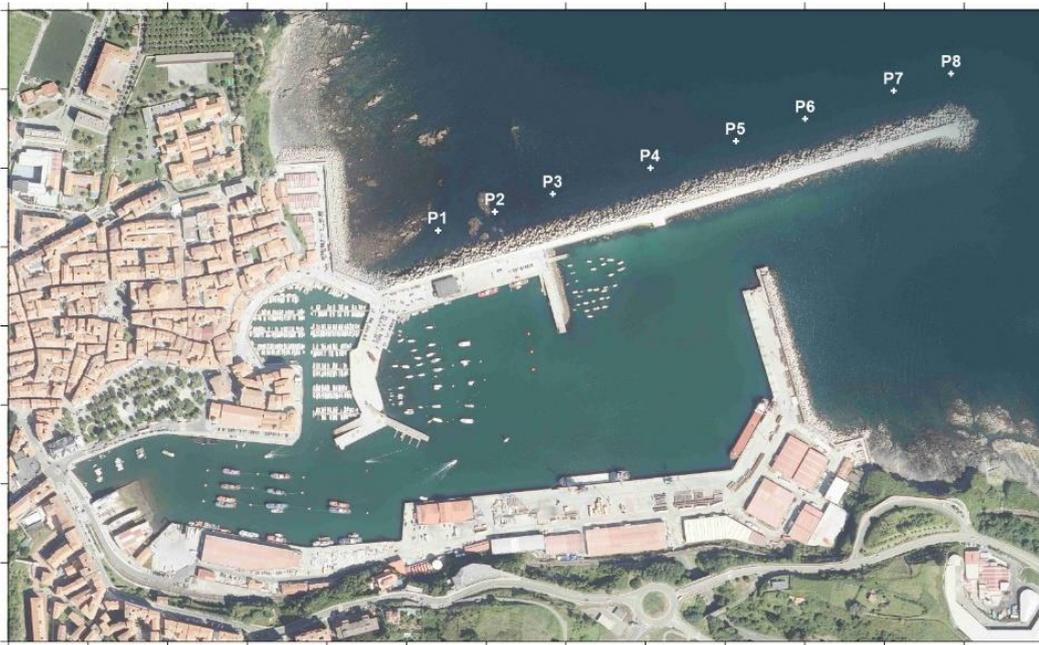


Figura 48. Los ocho puntos de análisis del oleaje incidente en el puerto de Bermeo usados en KOSTAEGOKI.

En la **Figura 49** se han representado los resultados de la propagación de oleaje sobre el dique de abrigo del puerto de Bermeo en los puntos P7 y P8 en cada uno de los escenarios de nivel del mar considerados en KOSTAEGOKI: actual, año horizonte 2050 (+26 cm), y año horizonte 2100 (51 cm, +70 cm y +100 cm, para finales de siglo XXI se analizaron tres escenarios de optimista, realista y pesimista en cuanto al éxito del control de emisión de gases de efecto invernadero) para los Tr de 100 y 500 años. Los resultados indican escasas modificaciones en la altura de oleaje incidente sobre el dique en su último tramo debido al ascenso del nivel del mar en todos los escenarios analizados.

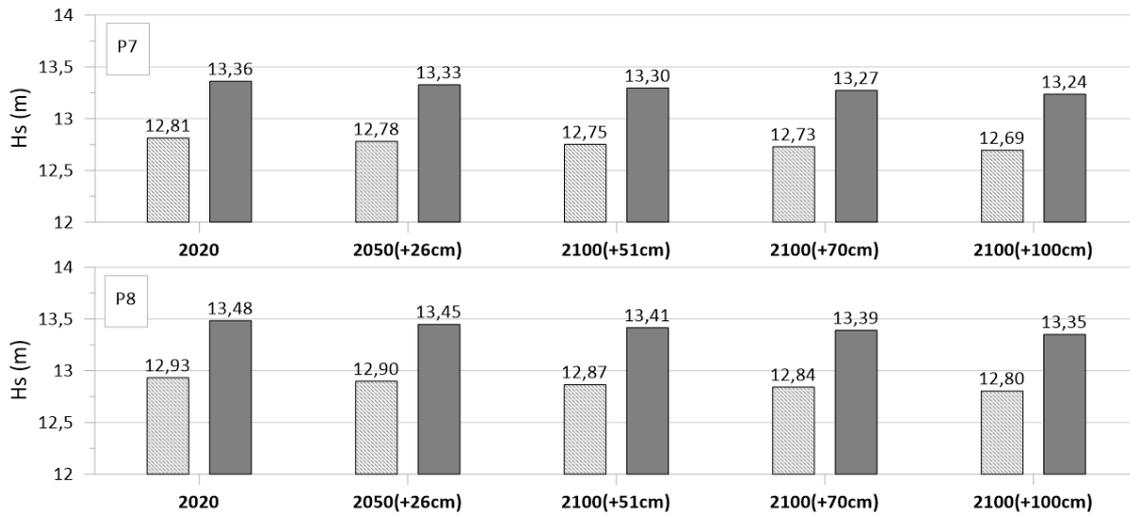


Figura 49. Altura de ola a pie de las estructuras de protección de Bermeo en los puntos P7 y P8 teniendo en cuenta 5 escenarios de nivel del mar y dos escenarios de oleaje: $Tr = 50$ años (gris claro) y $Tr = 100$ años (gris oscuro).

10. CONDICIONES DE LA BIOSFERA SUBMARINA Y EFECTOS SOBRE LA MISMA DE LAS ACTUACIONES PREVISTAS, ASÍ COMO LOS ESPACIOS DOTADOS DE FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

10.1 Condiciones de la biosfera submarina

El ámbito de las actuaciones previstas en el proyecto se localiza en aguas costeras según la *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas* (denominada, de forma simplificada, como Directiva Marco del Agua, DMA). Esta directiva exige, entre otros, el seguimiento del medio mediante redes de muestreo. Así, la DMA establece, en su artículo 8, las bases para el seguimiento del estado de las aguas superficiales, del estado de las aguas subterráneas y de las zonas protegidas. Asimismo, su anexo V recoge los diferentes indicadores de calidad, definiciones de estado ecológico y estrategias para el establecimiento de redes de seguimiento.

En la CAPV, URA-Agencia Vasca del Agua es el organismo que tiene como objeto llevar a cabo estas redes de seguimiento⁹, entre otras funciones. A efectos de la red de seguimiento del medio de URA, el puerto de Bermeo se localiza en la Masa de agua litoral Matxitxako-Getaria (código de masa: ES111C000020, **Figura 50**) y próximo a la Masa de agua de transición Oka Exterior (código de masa: ES111T046020). En estas masas de agua se realizan controles sobre elementos de calidad biológicos (por ejemplo: composición, abundancia y biomasa del fitoplancton; y composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados; fauna ictiológica) así como elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos. Por lo tanto, existe un excelente conocimiento histórico reciente sobre las condiciones de la biosfera submarina en el ámbito de la zona de actuación, sin embargo, este conocimiento no está disponible en las fechas en las que se ejecutó el proyecto.

⁹ <https://www.uragentzia.euskadi.eus/areas-actuacion/vigilancia/>

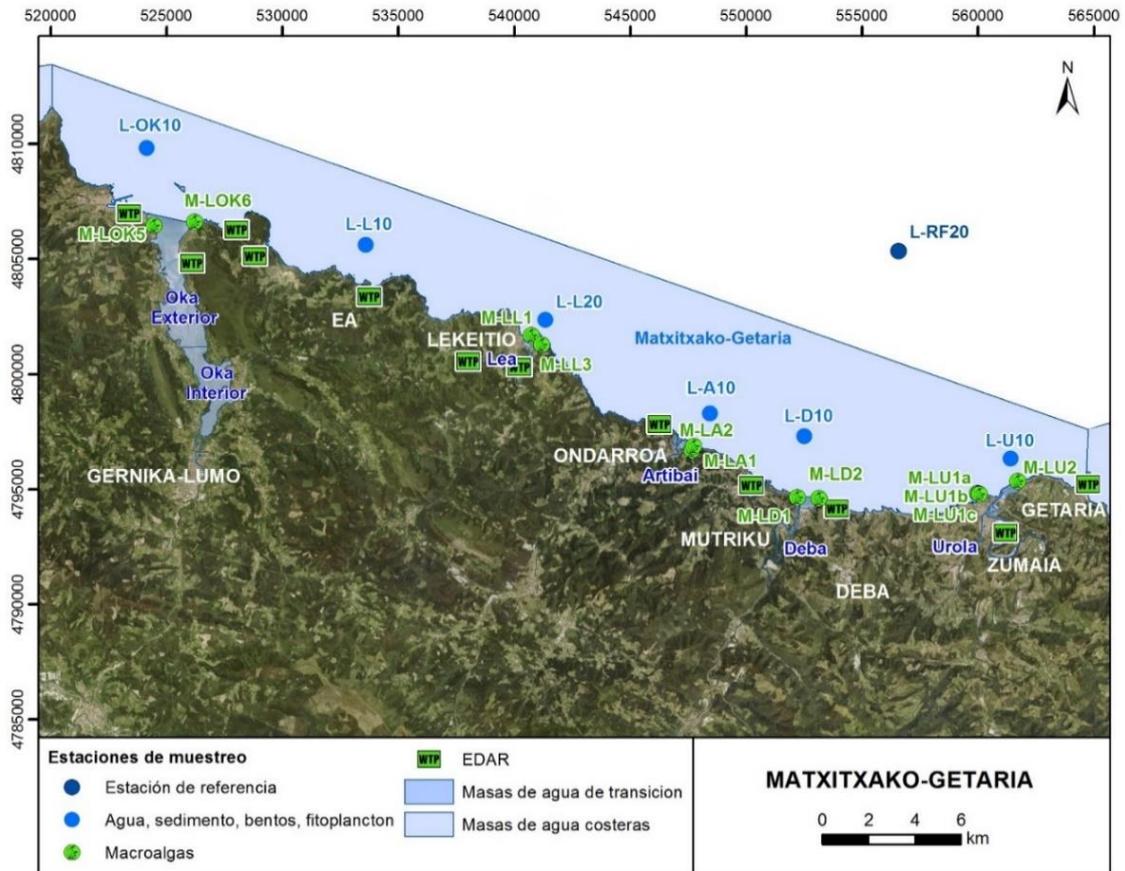


Figura 50. Ubicación de estaciones de muestreo en las masas de agua próximas al área de actuación, localizada en la zona occidental de la figura (Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco). Fuente: Borja *et al.*, 2021.

La masa de agua costera Matxitxako-Getaria, en la campaña 2020, se diagnosticó con un estado ecológico bueno, ya que tanto el estado ecológico como el químico alcanzaron el buen estado (Figura 51, Tabla 4). Esta situación de cumplimiento de objetivos medioambientales se dio durante los cinco años anteriores (Tabla 4).

Desde 2004 se ha ido avanzando mucho en saneamiento en las cuencas que vierten en esta masa de agua. Esto tiene su reflejo en la mejoría de indicadores físico-químicos asociados a aguas y sedimentos (Borja *et al.*, 2021).

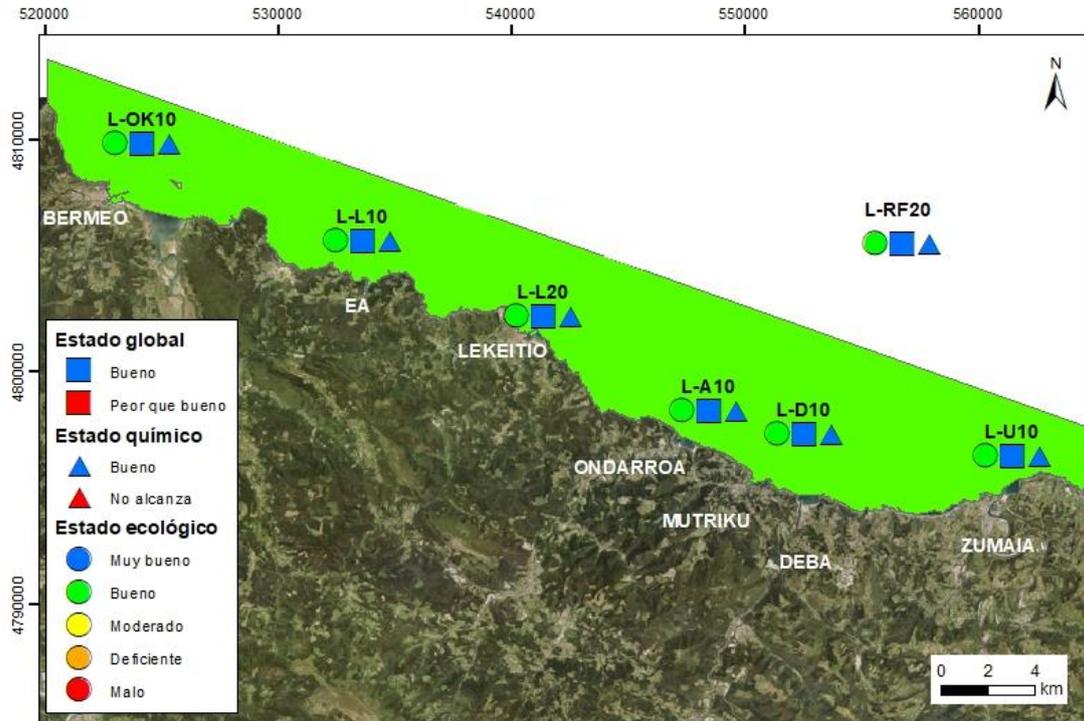


Figura 51. Calificación del Estado Ecológico, estado químico y global de las estaciones en la masa de agua costera Matxitxako-Getaria (y estado ecológico para la masa de agua), en 2020 (tomada de Borja et al., 2021).

Tabla 4. Resumen y el diagnóstico de Estado en la masa de agua costera Matxitxako-Getaria en 2020. (Claves: Macroinvertebrados (MI), fauna ictiológica (P), fitoplancton (F), macroalgas (M), estado biológico (BI), condiciones generales (CG), hidromorfología (HM) y estado ecológico: muy bueno (MB), bueno (B), moderado (Mo), deficiente (D) y malo (M). Sustancias preferentes (SP): muy bueno (MB), bueno (B), y no alcanza el buen estado (NA). Estado químico: bueno (B), y no alcanza el buen estado (NA). Estado: bueno (B) y peor que bueno (PqB) (tomado de Borja et al., 2021).

Código	Estación	MI	F	M	BI	CG	SP	HM	Estado Ecológico	Estado químico	Estado
L-OK10	Litoral de Mundaka (Oka)	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B	B	B
L-L10	Litoral de Elantxobe (Kai Arri) (Lea)	B	MB	MB	B	B	MB	MB	B	B	B
L-L20	Litoral de Lekeiño (Lea)	MB	MB		MB	B	MB	MB	B	B	B
L-A10	Litoral de Ondarroa (Artibai)	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B	B	B
L-D10	Litoral de Deba (Deba)	MB	MB	B	B	B	MB	B	B	B	B
L-U10	Litoral de Zumaia (Urola)	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B	B	B
	Matxitxako-Getaria	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	B	B	B
L-RF20	Litoral Deba - plataforma	MB	MB		MB	B	MB		B	B	B

Tabla 5. Evolución de estado químico y estado ecológico del periodo 2015-2020. Masa de agua costera Matxitxako-Getaria. (Claves: estado ecológico: muy bueno (MB), bueno (B), moderado (Mo), deficiente (D) y malo (M). bueno (B), y no alcanza el buen estado (NA). Estado: bueno (B) y peor que bueno (PqB). NCA: Normas de Calidad Ambiental (tomado de Borja et al., 2021).

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Estado ecológico	B	B	B	B	B	B
Estado químico	B	B	B	B	B	B
Estado	B	B	B	B	B	B

10.2 Espacios dotados de figuras de protección ambiental en el ámbito de actuación

El ámbito de las actuaciones previstas en el proyecto se localiza dentro o próximo de varias figuras de protección ambiental. A continuación, se mencionan, de forma muy resumida, las principales figuras de protección.

10.2.1 Urdaibaiko itsasertzak eta padurak / Zonas litorales y marismas de Urdaibai ES2130007

El Decreto 358/2013, de 4 de junio, por el que se designan Zonas Especiales de Conservación 4 lugares de importancia comunitaria del ámbito de Urdaibai y San Juan de Gaztelugatxe y se aprueban las medidas de conservación de dichas ZEC y de la ZEPA Ría de Urdaibai¹⁰, declaró como Zona de Especial Conservación (ZEC) la zona “ES2130007 Urdaibaiko itsasertzak eta padurak / Zonas litorales y marismas de Urdaibai”. Es una zona que presenta una notable variedad de hábitats y especies de interés ecológico (algunas de ellas con protección)¹¹.

En la **Figura 52** se presenta en rojo la parte de esta ZEC más próxima al ámbito de actuación en el proyecto.

¹⁰ <https://www.euskadi.eus/y22-bopv/es/bopv2/datos/2013/12/1305570a.pdf>

¹¹ <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES2130007>

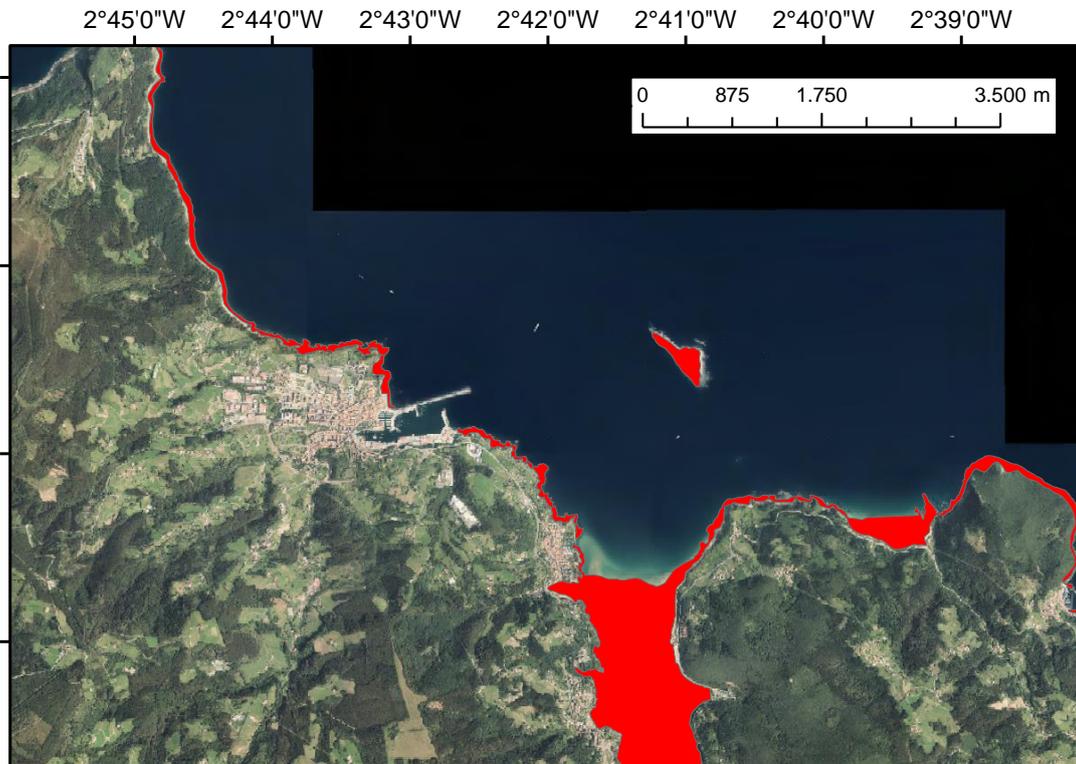


Figura 52. Urdaibaiko itsasertzak eta padurak / Zonas litorales y marismas de Urdaibai ES2130007.

10.2.2 Urdaibaiko Itsasadarra/Ría de Urdaibai ES0000144

El mismo decreto que se indica en el apartado anterior, también declara la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) ES0000144 “Urdaibaiko itsasadarra/Ría de Urdaibai”¹².

Esta ZEPA presenta una notable variedad de hábitats y especies de interés ecológico (algunas de ellas con protección)¹³. En la **Figura 53** puede observarse la ZEPA en el ámbito de la zona de actuación del proyecto.

¹² <https://www.euskadi.eus/y22-bopv/es/bopv2/datos/2013/12/1305570a.pdf>

¹³ <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000144>

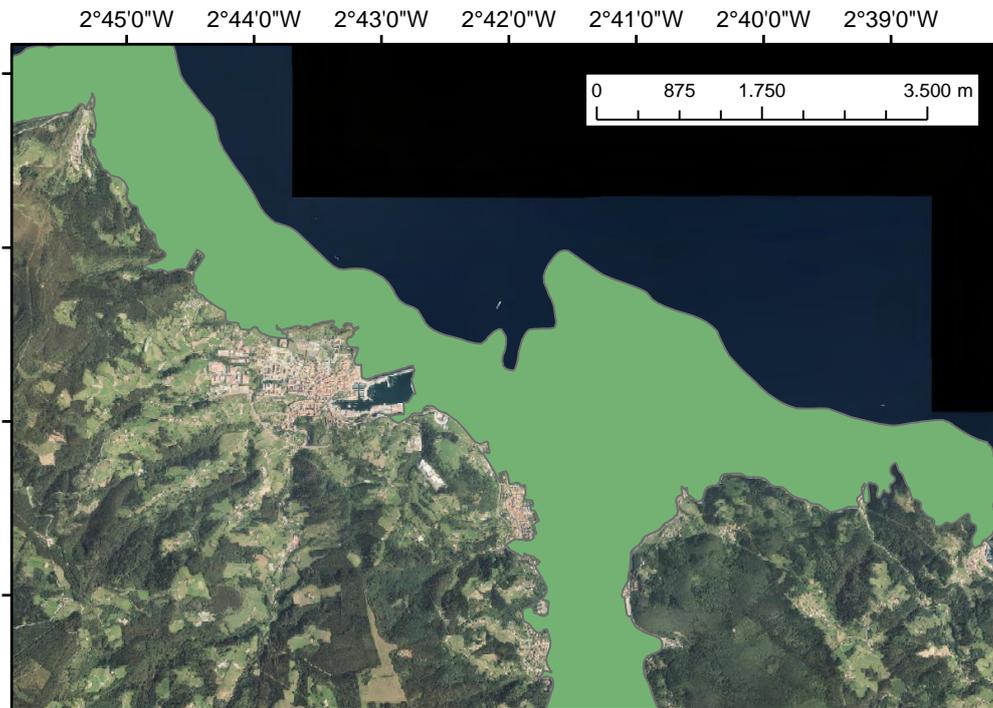


Figura 53. Urdaibaiko Itsasadarra/Ría de Urdaibai ES0000144.

10.2.3 Espacio marino de la Ría de Mundaka-Cabo de Ogoño ES0000490

La Orden AAA/1260/2014, de 9 de julio, por la que se declaran Zonas de Especial Protección para las Aves en aguas marinas españolas¹⁴, incluye la ZEPA “Espacio marino de la Ría de Mundaka-Cabo de Ogoño” ES0000490. Este ZEPA cubre aproximadamente 17.500 ha y es de gran importancia para el paso migratorio postnupcial de varias aves marinas¹⁵. El número de especies de aves residentes y no residentes en la ZEPA es notorio¹⁶, destacando la presencia colonias de cría de paíño europeo y cormorán moñudo y así como las aves migratorias pardela balear y el alcatraz

¹⁴ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-7576>

¹⁵ https://www.indemares.es/sites/default/files/0613apendice_cant-galicia_es0000490_quernica_ogono.pdf

¹⁶ <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=ES0000490>

atlántico. En la **Figura 54** puede observarse la localización de la ZEPA en el ámbito de la zona de actuación del proyecto.

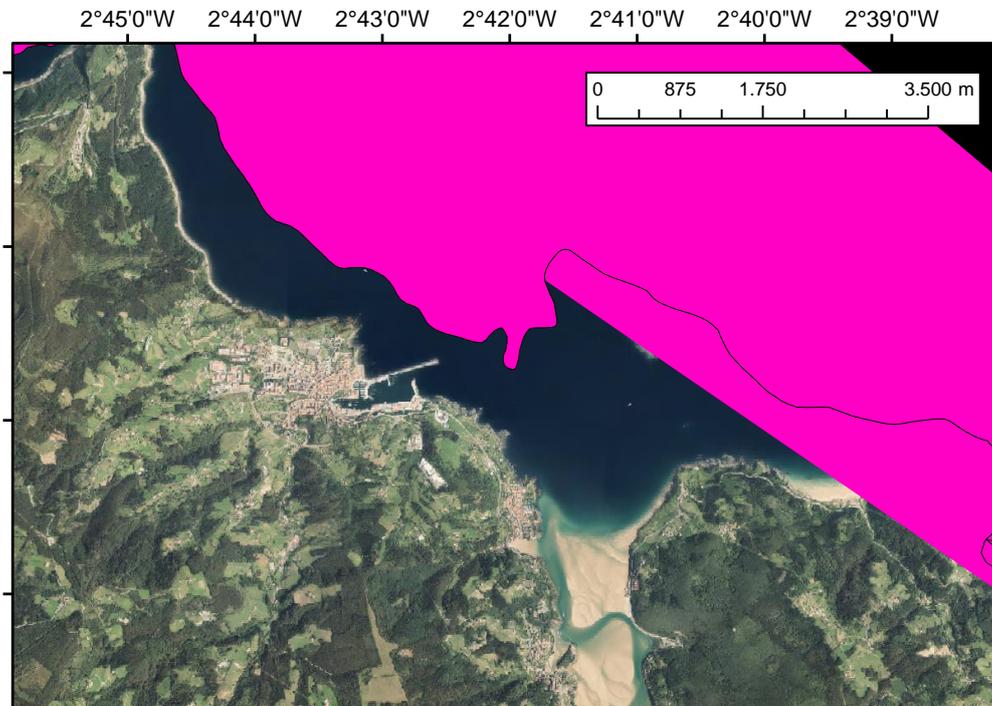


Figura 54. Espacio marino de la Ría de Mundaka-Cabo de Ogoño ES0000490.

10.2.4 Ría de Mundaka- Gernika ES026

La *Resolución de 15 de marzo de 1993, de la Subsecretaría, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 21 de febrero de 1992, por el que se autoriza la inclusión de nueve humedales en la lista del Convenio sobre Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat para las aves acuáticas (Ramsar, 2 de febrero de 1971)*¹⁷ incluye en dicha lista (conocida también como lista RAMSAR) la “Ría de Mundaka-Gernika” ES026. Tiene una superficie de aproximadamente 1.000 ha, e incluye numerosos hábitat y especies claves para

¹⁷ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1993-8022>

mantener la diversidad biológica¹⁸. En la **Figura 55** puede observarse la localización de este humedal RAMSAR en el ámbito de la zona de actuación del proyecto.

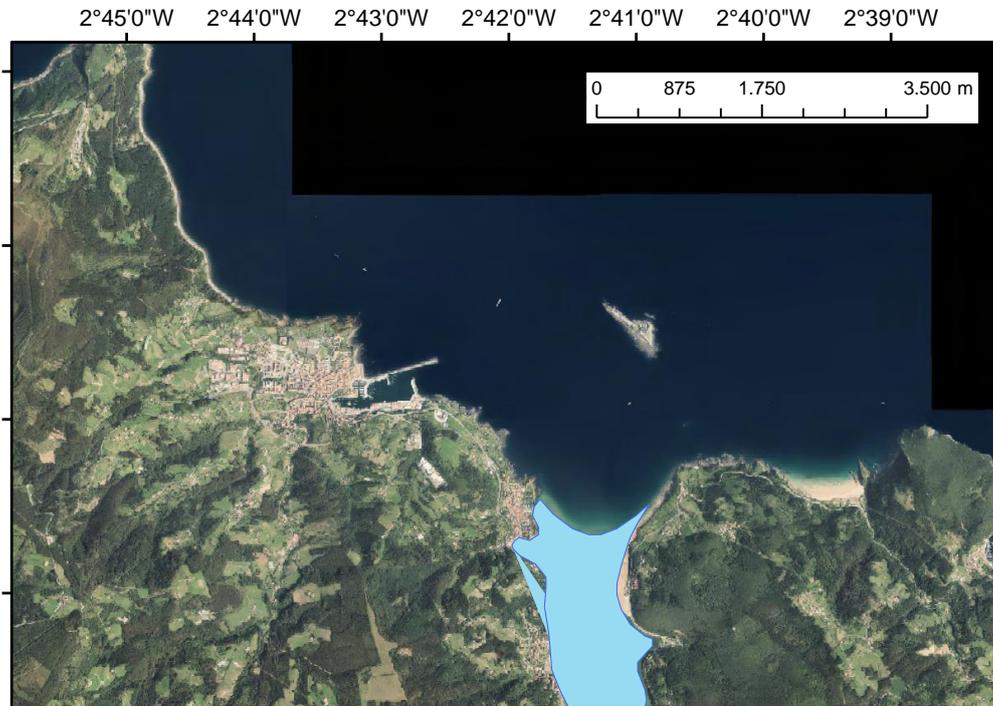


Figura 55. Ría de Mundaka-Gernika ES026.

10.2.5 Reserva de la Biosfera de Urdaibai ES213001

La *Ley 5/1989, de 6 de Julio, de Protección y Ordenación de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai*¹⁹, así como regulación posterior (*Decreto 164/1995, de 14 de febrero, por el que se crea el Consejo de Cooperación de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai; Decreto 197/1997, de 29 de agosto, de modificación del Decreto de creación del Consejo de Cooperación de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai; Decreto 258/1998, de 29 de septiembre, por el que se aprueba el programa de armonización y desarrollo de actividades socioeconómicas de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai; Decreto 139/2016, de 27 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión*

¹⁸ https://www.miteco.gob.es/images/es/26_fir_mundaka_gernika_febrero2006_tcm30-202924.pdf

¹⁹ <https://www.boe.es/eli/es-pv/l/1989/07/06/5>

de la Reserva de la Biosfera de Urdaiba²⁰) regulan esta Reserva de la Biosfera declarada en el ámbito del Programa Hombre y Biosfera (en inglés *Man and the Biosphere Programme*, “MaB”) de la UNESCO, que incluye en su superficie 4 lugares de la Red Natura 2000: ZEC Red fluvial de Urdaibai (ES2130006), Zonas litorales y marismas de Urdaibai (ES2130007), Encinares cantábricos de Urdaibai (ES2130008) y la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) Ría de Urdaibai (ES0000144).

En la **Figura 56** puede observarse la localización de este biotopo en el ámbito de la zona de actuación del proyecto.

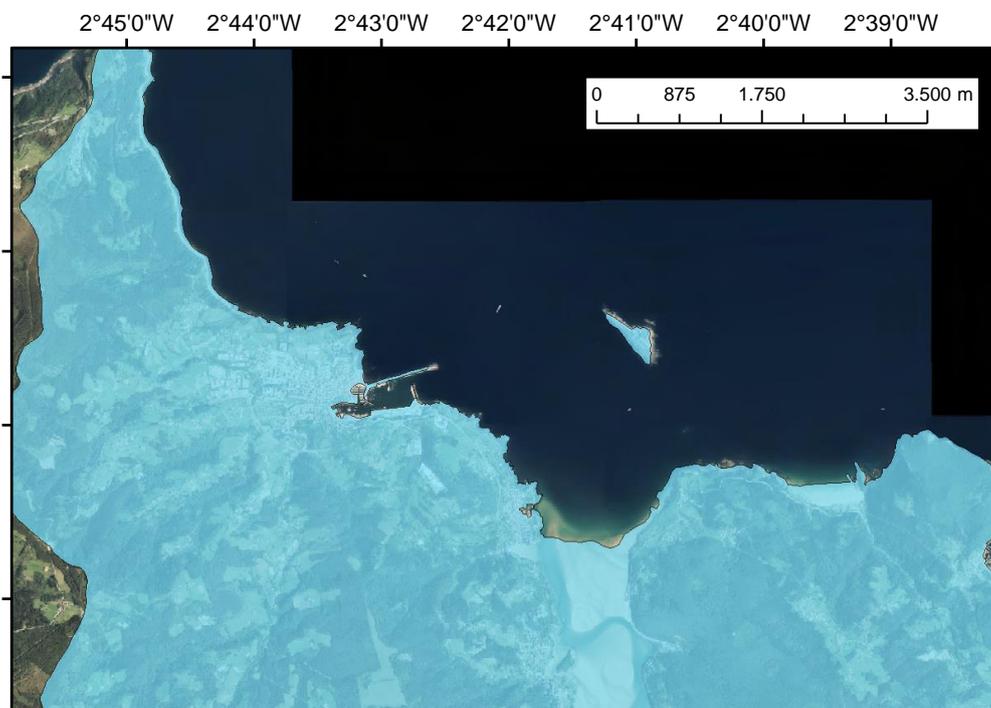


Figura 56. Reserva de la Biosfera de Urdaibai RAMSAR ES213001.

²⁰ Este decreto deroga las siguientes disposiciones: a) El Decreto 242/1993, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai; b) El Decreto 313/1992, de 24 de noviembre, por el que se desarrolla la Ley de Protección y Ordenación de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, sobre emisión de informes por el Patronato; c) El Decreto 27/2003, de 11 de febrero, de modificación del Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. d) La Orden de 18 de noviembre de 2004, del Consejero de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, por la que se aprueba definitivamente el Plan de Acción Territorial de encinares cantábricos de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai.

10.2.6 Otras figuras de interés

Además de las zonas mencionadas anteriormente, cabe citar el *Decreto Foral de la Diputación Foral 116/2006, de 19 de junio, por el que se aprueba el plan de gestión del ave «paíño europeo (*Hydrobates pelagicus*)»*, como especie rara y cuya protección exige medidas específicas²¹. Este incluye en su plan de gestión a la isla de Izaia, localizada a 2 km de la zona de actuación (**Figura 57**).

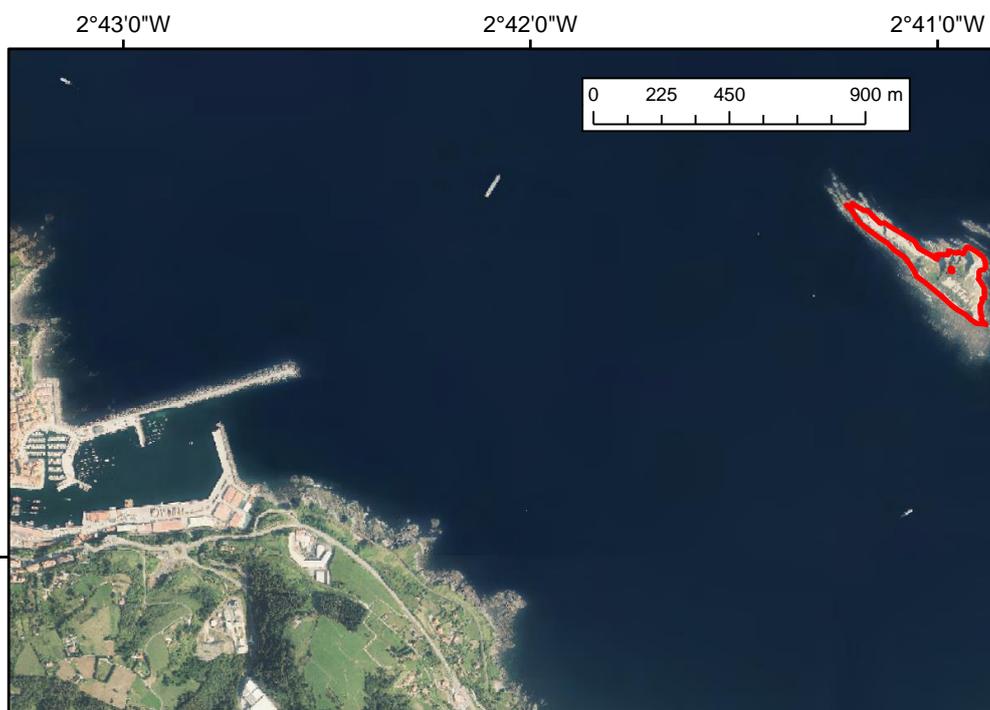


Figura 57. Ubicación del área plan de gestión del ave paíño europeo en la isla de Izaia (DECRETO FORAL de la Diputación Foral 116/2006, de 19 de junio).

También cabe mencionar la presencia próxima de Lugares de Interés Geológico (LIG)²²: LIG 13 Anticlinal de Gernika (**Figura 58**), LIG 32 Olistolito de Aritzatxu (**Figura 59**), LIG 97 Tramo inferior del estuario del río Oka (**Figura 60**) y LIG 134 Corales y orbitolinas de Mundaka (**Figura 61**).

²¹https://www.bizkaia.eus/lehendakaritza/Bao_bob/2006/07/20060706a129.pdf?hash=87b5606acf0fde1fbf6791130d062b69&idioma=CA#page=20

²²<https://www.euskadi.eus/informacion/lugares-de-interes-geologico/web01-a2ingdib/es/>



Figura 58. Lugar de Interés Geológico 13 Anticlinal de Gernika.



Figura 59. Lugar de Interés Geológico 32 Olistolito de Aritzatxu.

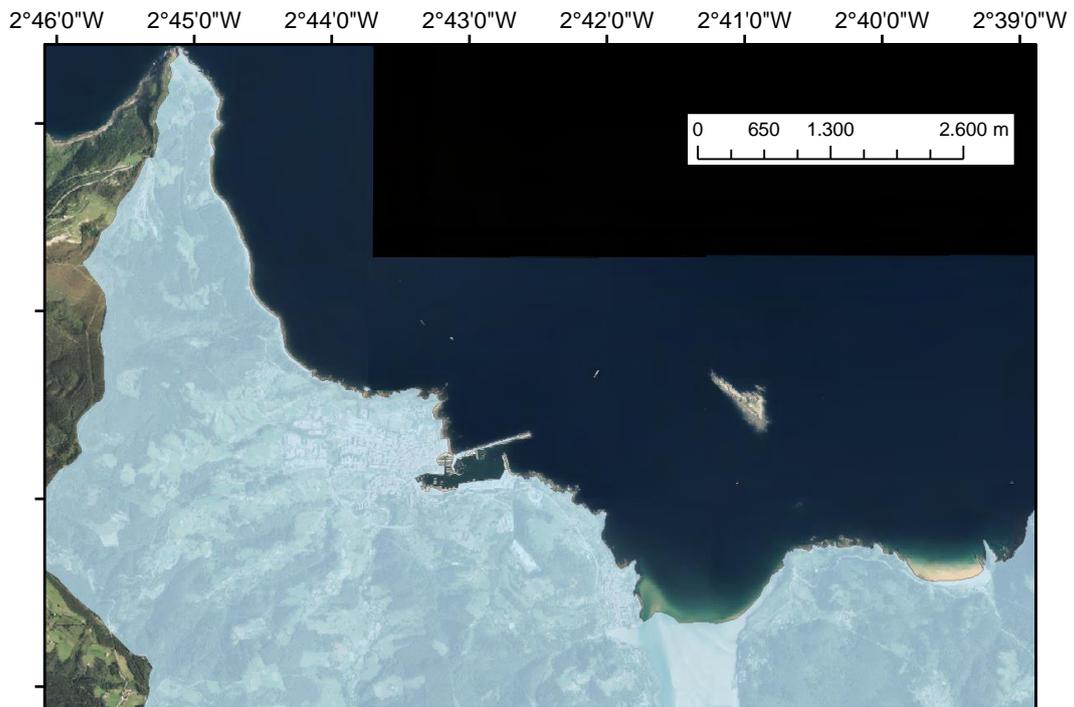


Figura 60. Lugar de Interés Geológico 97 Tramo inferior del estuario del río Oka.



Figura 61. Lugar de Interés Geológico 134 Corales y orbitolinas de Mundaka.

En lo que refiere a zonas de baño (del Registro de Zonas Protegidas), la más próxima a la zona de actuación es la playa de Aritxatxu (**Figura 62**) además de las playas de Laida, Laidatxu y Laga.

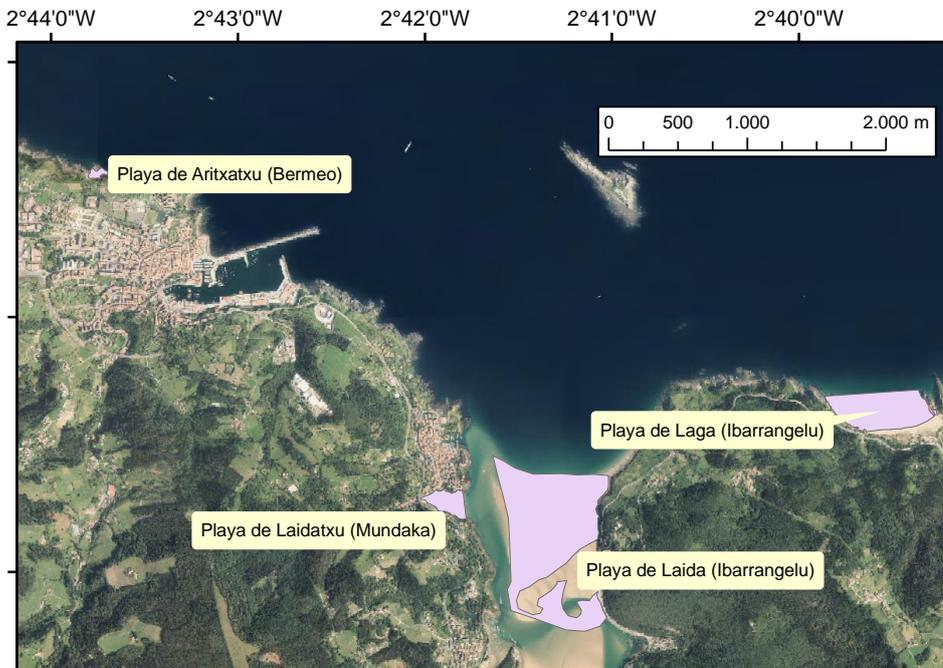


Figura 62. Zonas de baño (fuente: <https://www.geo.euskadi.eus/zonas-de-bano-del-registro-de-zonas-protegidas/webgeo00-dataset/es/>).

10.2.7 Características bionómicas en el ámbito de la actuación

De cara a clasificar los hábitats, es habitual utilizar el sistema EUNIS (*European Nature Information System*). EUNIS es el sistema europeo de referencia sobre datos de biodiversidad en Europa.

Observando la distribución de hábitats EUNIS en la **Figura 63**, se aprecia que en esta zona de actuación el hábitat que predomina es el A5.33²³. El hábitat A5.33 ha sido caracterizado en la CAPV por Galparsoro *et al.* (2009). Según estos autores, este hábitat infralitoral de sustrato blando se caracteriza por la presencia de arena limosa cohesiva. En la plataforma vasca, las especies típicas incluyen *Nephtys cirrosa*, *Hippomedon*

²³ <https://eunis.eea.europa.eu/habitats/5429>

denticulatus, *Echinocardium cordatum*, *Urothoe brevicornis*, *Dispio uncinata*, anfípodos del género *Hippomedon*. También pueden disponer elevada presencia las especies *Gastrosaccus sanctus*, *Bathyporeia elegans* y *Scolelepis bonnieri*.

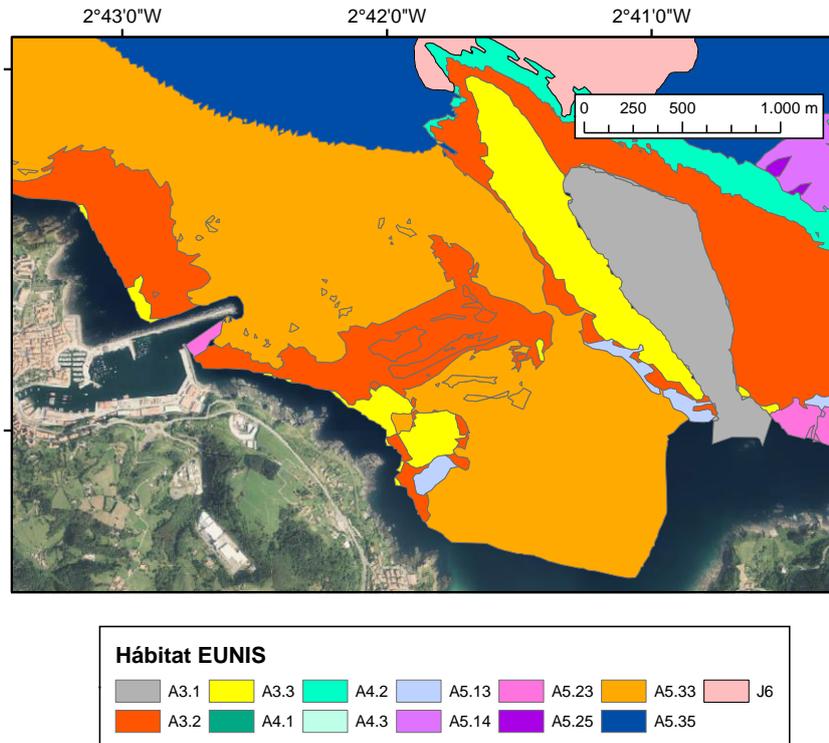


Figura 63. Tipos de hábitats según el sistema EUNIS (*European Nature Information System*). Véase texto principal para explicación.

10.2.8 Efectos de la actuación del proyecto

En lo que se refiere a efectos de la actuación del proyecto sobre los objetivos de las figuras de protección próximas al área de actuación cabe mencionar que, tal como se ha expuesto en el presente informe, las modificaciones en la dinámica resultante de dicha actuación fueron limitadas. Esto no excluye que, durante las distintas acciones de ejecución del proyecto a principios de la década de los 90 del siglo XX, se hayan producido afecciones puntuales y transitorias sobre la biota marina de la zona de actuación, tal como las derivadas i) del incremento de polvo, ruido y emisiones gaseosas ocasionadas *in situ* por la maquinaria de obra, ii) de la presencia de maquinaria y personal (impacto visual), iii) modificación puntual de la calidad del agua, o iv) el transporte de materiales.

11. RECURSOS DISPONIBLES DE ÁRIDOS Y CANTERAS Y SU IDONEIDAD, PREVISIÓN DE DRAGADOS O TRASVASES DE ARENAS

El proyecto tenía planificado, tanto en el pliego como en el estudio de precios, que las arenas se obtendrían mediante machaqueo. No se previó ni dragados ni trasvases de arena.

Ni en la zona de ocupación de la actuación, los últimos 100 m del dique actual de abrigo del puerto de Bermeo, ni en las colindantes se encuentran zonas donde se realice extracción de áridos.

En el puerto de Mundaka sí se realizan dragados anuales de arena para el mantenimiento de los calados en el puerto con vertido en la zona sumergida de la playa de Laida. Sin embargo, los resultados obtenidos no muestran ningún efecto significativo de la actuación realizada en el Puerto de Bermeo sobre estos lugares.

12. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS ACTUACIONES DEL PROYECTO

No se dispone de información sobre un posible plan de seguimiento de las actuaciones del proyecto realizado en los años 90 del siglo XX.

En la zona se dispone de un sistema de videocámaras KOSTASystem²⁴ que monitoriza la playa de Laida.

Tras los temporales de 2014 se realizó una regeneración de la playa seca de Laida cara al verano de 2015²⁵ con una propuesta de seguimiento a medio-largo plazo de la morfodinámica de la playa de Laida y del estuario del Oka en sentido amplio que, hasta la fecha se ha ido implementando parcialmente: estación de videometría KOSTASystem y mareógrafo en Bermeo, principalmente.

²⁴ <https://www.kostasystem.com/monitorizaciones/mundaka/>

²⁵ Lira P, Epelde I, González M y Uriarte Ad, 2015. Alternativas para la regeneración de la playa seca de Laida de cada al verano de 2015. Elaborado por AZTI para la Diputación Foral de Bizkaia, Departamento de Medio Ambiente.

13. PROPUESTA PARA LA MINIMIZACIÓN, EN SU CASO, DE LA INCIDENCIA DE LAS OBRAS Y POSIBLES MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS

Considerando que la obra se ejecutó a principios de los años 90 del siglo pasado y que en el presente informe no se han estimado modificaciones relevantes en la dinámica litoral derivadas dicha ejecución, no se plantean medidas correctoras ni compensatorias.

14. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio básico de dinámica litoral para evaluar los posibles efectos producidos por la ampliación del dique rompeolas del puerto de Bermeo que se ejecutó a principios de 1990, considerando un clima actual y un clima futuro en un contexto de cambio climático. La obra consistió en una ampliación de 100 m de la superestructura a los que se añadió otros 50 m del derrame del manto del cono final del morro.

El puerto de Bermeo se encuentra al este del cabo Matxitxako que le ofrece protección del oleaje del oeste y oeste-noroeste y en la entrada oeste del estuario del Oka.

El contenido del documento responde a la solicitud de:

“- Estudio básico de la dinámica litoral referido a la unidad fisiográfica costera correspondiente y de los efectos de las actuaciones previstas, de acuerdo con los términos previstos en el artículo 93 del Reglamento General de Costas.

- Evaluación de los posibles efectos del cambio climático, de acuerdo a los términos previstos en los artículos 92 y 106 del Reglamento General de Costas.“

Se ha realizado un estudio de clima marítimo calculando los regímenes medios y extremos partir de los datos de oleaje de la boya de Bilbao-Vizcaya y de los datos de nivel del mar del mareógrafo de Bilbao (ambas instalaciones pertenecientes a Puertos del Estado).

El estudio de la naturaleza geológica de los fondos del entorno indica la presencia de sustrato rocoso, que es dominante en las zonas más someras y contiguas de la línea de costa en la zona cercana al puerto. Desde una perspectiva más amplia, se observa la presencia de sustrato mixto (alternancia de sustrato duro y blando) entre la costa y la isla de Izaro a profundidades de 16-20 m y en una amplia franja situada al sur de la posición del puerto. En profundidades más someras y una vez superada esta zona en dirección sur, el fondo es predominantemente sedimentario, correspondiéndose con la parte sumergida del arenal que conforma la playa de Laida.

El puerto de Bermeo se sitúa en la zona externa del estuario del Oka (Reserva de la Biosfera de Urdaibai). Debido a la importancia y singularidad del entorno y de cara a tener un mejor conocimiento del alcance de las posibles interacciones, el estudio de dinámica litoral no se ha ceñido solamente a la zona adyacente al puerto, sino que se ha analizado el estuario en su globalidad. Para ello se ha empleado una combinación de modelos numéricos: (1) un modelo de alta resolución de oleaje para representar los procesos de difracción y refracción del oleaje y (2) un modelo hidro-sedimentario para estudiar las corrientes y el transporte de sedimento.

El estudio de la dinámica actual con la configuración reciente del puerto de Bermeo ha permitido caracterizar la transformación del oleaje en el entorno del puerto y en el estuario, y obtener un estado de referencia del patrón de oleaje, corrientes, y transporte sedimentario, en condiciones medias de oleaje, y en condiciones de temporal, para poder compararse con otras configuraciones.

A partir del análisis de ortofotos históricas y de datos batimétricos se obtiene que, en la zona del puerto de Bermeo y en la prolongación del dique que nos ocupa, no se observa ningún cambio morfológico, excepto los cambios de configuración del propio puerto, dado que este se encuentra en una zona rocosa sin playa de arena. Los únicos cambios morfológicos que se pueden relacionar de forma directa con la ampliación del dique del puerto se han producido, por tanto, en la zona sumergida del entorno del propio puerto.

El estuario inferior del Oka es una zona muy dinámica que ha sufrido muchos cambios, pero se deben a procesos principalmente naturales relacionados con el equilibrio dinámico del estuario y con la variabilidad climática y estacional. Algunos cambios son consecuencias de actuaciones humanas de intervenciones de dragado y de regeneración/vertido del material dragado, pero estos cambios no pueden relacionarse en ningún caso con la ampliación del puerto de Bermeo objeto de este estudio.

La zona de afección de la ampliación del dique del puerto se limita a la zona cercana al puerto, como lo muestran los resultados de las simulaciones numéricas, calculando las diferencias de las variables hidro-sedimentarias entre la configuración actual (con ampliación) y anterior (sin ampliación) del puerto.

Los resultados del estudio de cambio climático muestran que la ampliación del puerto no ha tenido efecto en los riesgos de inundación del entorno, al margen de que la propia zona ampliada tiene riesgo de rebase por combinación de oleaje, marea y el nivel medio del mar en la situación actual y en la prevista para 2050 y para finales del siglo XXI.

Por otra parte, el estudio de oleaje y el estudio hidro-sedimentario, considerando proyecciones de aumento de nivel del mar no muestran ningún incremento de la intensidad de los efectos producidos por la ampliación del puerto.

En lo que se refiere a posibles efectos de la actuación del proyecto sobre los objetivos de las figuras de protección próximas al área de actuación la actuación no se estima que pueda perjudicar de forma relevante a la consecución los objetivos principales de las distintas figuras de protección.

El proyecto de ampliación de los últimos 100 m del dique de Bermeo realizado a principios de los años 90 tenía planificado, tanto en el pliego como en el estudio de precios, que las arenas se obtendrían mediante machaqueo. No se previeron ni dragados ni trasvases de arena. En la zona de actuación y sus inmediaciones no se realiza extracción de áridos, salvo en el pequeño puerto de Mundaka, situado a unos 2 km del puerto de Bermeo, en el que se draga arena anualmente para el mantenimiento de calados; arena se vierte en la parte sumergida de la playa de Laida. Sin embargo, los resultados obtenidos no muestran ningún efecto significativo de la actuación realizada en el Puerto de Bermeo sobre estos lugares.

No se dispone de información sobre un posible plan de seguimiento de las actuaciones ni de un plan con medidas correctoras y compensatorias. Cabe señalar que estas actuaciones se llevaron a cabo hace unos 30 años. En cuanto a plan de seguimiento, actualmente un sistema de videocámaras KOSTASystem monitoriza la playa de Laida y se dispone de un mareógrafo de alta frecuencia en el puerto de Bermeo.

15. BIBLIOGRAFÍA

Aranburu, A., Arriolabengoa, M., Iriarte, E., Giralt, S., Yusta, I., Martínez-Pillado, V., del Val, M., Moreno, J., Jiménez-Sánchez, M., 2015. Karst landscape evolution in the littoral area of the Bay of Biscay (north Iberian Peninsula). *Quaternary International* 364, 217-230. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.025>

Borja, Á., Bald, J., Calvo, M., Franco, J., Larreta, J., Menchaca, I., Muxika, I., Pouso, S., Garmendia, J.M., Lanzén, A., Revilla, M., Rodríguez, J.G., Sagarminaga, Y., Solaun, O., Uriarte, A., Zorita, I., Adarraga, I., Aguirrezabala, F., Sola, J.C., Cruz, I., Marquiegui, M., Martínez, J., Ruíz, J.M., Cano, M., Lasa-Martínez, A., Manzanos, A., 2021. Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Informe de resultados. Campaña 2020. Informe elaborado por Fundación AZTI Fundazioa para URA-Agencia Vasca del Agua.

Camus, P., Losada, I. J., Izaguirre, C., Espejo, A., Menéndez, M., & Pérez, J. (2017). Statistical wave climate projections for coastal impact assessments. *Earth's Future*, 5(9), 918-933.

Camus P., Tomás A., Díaz-Hernández G., Rodríguez B., Izaguirre C., Losada I. (2019), Probabilistic assessment of port operation downtimes under climate change. *Coastal Engineering*. 147: p. 12-24.

Chust G, González M, Fontán A, Revilla M, Alvarez P, Santos M, Cotano U, Chifflet M, Borja A, Muxika I, Sagarminaga Y, Caballero A, de Santiago I, Epelde I, Liria P, Ibaibarriaga L, Garnier R, Franco J, Villarino E, Irigoien X, Fernandes-Salvador JA, Uriarte A, Esteban X, Orue-Echevarria D, Figueira T & Uriarte A (2021). Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Science of The Total Environment*, 803, 149622.

Fox-Kemper, B., H. T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S. S. Drijfhout, T. L. Edwards, N. R. Golledge, M. Hemer, R. E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I. S. Nurhati, L. Ruiz, J-B. Sallée, A. B. A. Slangen, Y. Yu (2021). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Galparsoro, I., G. Rodríguez; Á. Borja, I. Muxika, 2009. Elaboración de mapas de hábitats y caracterización de fondos marinos de la plataforma continental vasca. Informe inédito elaborado por AZTI-Tecnalia para el Dirección de Biodiversidad; Viceconsejería de Medio Ambiente; Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco, 74 pp.

García de Bikuña B., Docampo L. (1990). *Limnología de los ríos de Vizcaya. Teorías, aplicaciones e implicaciones biológicas*. Dpto. Urbanismo, Vivienda.

- Garnier, R., de Santiago, I., Liria, P., Epelde, I. & Chust, G. (2021). Increase of extreme wave events and impact in beach erosion in the Basque coast. Arias, A., Ríos, P., Paxton, H., Sánchez, O., Acuña, J. L., Álvarez, A., Manjón-Cabeza, M. E. & Cristobo, J. (Eds). 2021. Proceedings of the XVII International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY 17). University of Oviedo, 70 pp.
- Garnier, R., Townend, I., Monge-Ganuzas, M., de Santiago, I., Liria, P., Abalia A., Epelde, I., del Campo, A., Chust G., Valle, M., González, M., Mader, J., Gómez, M. L., Castillo, C. & Uriarte, A. (2022). Modelización de la respuesta morfológica del estuario del Oka (Bizkaia) al cambio climático. In XVI Jornadas Española de Ingeniería de Costas y Puertos, Alicante, Spain, May 11-12, 2022.
- González, M., Medina, R., Gonzalez-Ondina, J., Osorio, A., Méndez, F. J., & García, E. (2007). An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. Computers & geosciences, 33(7), 916-931.
- Kirby, J. T., & Dalrymple, R. A. (1994). Combined Refraction/Diffraction Model REF/DIF 1, Version 2.5: Documentation and User's Manual. Center for Applied Coastal Research, Department of Civil Engineering, University of Delaware.
- Kirby, J. T., & Özkan, H. T. (1994). Combined refraction/diffraction model for spectral wave conditions, REF/DIF S, version 1.1. University of Delaware, Newark, CACR Report, (94-04).
- Liria, P., Garel, E., Uriarte, A., 2009. The effects of dredging operations on the hydrodynamics of an ebb tidal delta: Oka Estuary, northern Spain. Continental Shelf Research 29, 1983-1994. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.01.014>
- Monge-Ganuzas, A. Cearreta and G. Evans. 2013. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). Ocean & Coastal Management 77, 40-49.
- Monge-Ganuzas, M., Evans, G., Cearreta, A., 2015. Sand-spit accumulations at the mouths of the eastern Cantabrian estuaries: The example of the Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve). Quaternary International 364, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.019>
- Monge-Ganuzas, M., Gainza, J., Liria, P., Epelde, I., Uriarte, A., Garnier, R., González, M., Nuñez, P., Jaramillo, C., Medina, R., 2017. Morphodynamic evolution of Laida beach (Oka estuary, Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay) in response to supratidal beach nourishment actions. Journal of Sea Research 130, 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.06.003>
- O'Grady, J.G., Hemer, M.A., McInnes, K.L. et al. Projected incremental changes to extreme wind-driven wave heights for the twenty-first century. Sci Rep 11, 8826 (2021)
- Rivas V, Cendrero A. (1992). Análisis histórico de la evolución superficial de los estuarios del País Vasco. Lurralde, 15: 199-227.

Ruiz de Alegria, A., 2005. Sand Barrier Formation and Maintenance: Urdaibai Estuary, Northern Spain, (unpublished) M.Sc. Thesis, Schools of Ocean and Earth Science & Civil Engineering and the Environment, University of Southampton, p. 107, plus Appendices.

Valencia V., Borja A., Franco J., Galparsoro I., Tello E. (2004). Medio físico y dinámica de los estuarios de la costa vasca. Aplicaciones en ecología y gestión.

Villate, F., J. Franco, A. Ruiz y E. Orive., 1989. Caracterización geomorfológica e hidrológica de cinco sistemas estuáricos del País Vasco. Kobie. Ciencias naturales, ISSN 0214-6967, N°. 18, págs. 157-170.

16. ANEXO I

Se muestran a continuación las ortofotos de la zona de estudio obtenidas de <http://apps.bizkaia.net/GRIT/> de los siguientes años:

- 1956
- 1965
- 1983
- 1990
- 1995
- 1999
- 2022
- 2004
- 2005
- 2006
- 2008
- 2009
- 2010
- 2011
- 2012
- 2013
- 2014
- 2015
- 2016
- 2017
- 2018
- 2019

La ortofoto de 2021 se ha descargado de <https://www.geo.euskadi.eus/inicio>

