



INFORME DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DERIVADA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA

Abril 2021 Apirila

PROMOTOR / SUSTATZAILEA

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CONOCIMIENTO DEL MEDIO.....	1
3.	NORMATIVA DE APLICACIÓN	4
3.1.	Planeamiento	4
3.2.	Plan Territorial Sectorial (PTS) de la Red Ferroviaria en la CAPV	5
3.3.	Modificación del Plan Sectorial de la Red Ferroviaria en Guipúzcoa (2004).....	5
3.4.	Plan Especial de Ordenación de la Zona de Servicio del Puerto de Pasajes.....	5
3.5.	Anteproyecto del Masterplan para la regeneración urbana de la Bahía de Pasaia	5
3.6.	Aguas	6
3.7.	Suelos	7
4.	PROYECTOS EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	8
4.1.	Anteproyecto de la variante ferroviaria del trazado del tramo Herrera- Gantzurizketa de la línea Lasarte-Oria-Hendaia.....	8
4.2.	Proyecto de Penetración del puerto de Pasaia	8
4.3.	Proyecto constructivo del metro de Donostialdea. Tramo Altza-Galtzaraborda.....	9
4.4.	Otras obras de importancia.....	10
5.	CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA.....	11
5.1.	Costa Cantábrica.....	11
5.2.	Factores de cambio	12
5.2.1.	Nivel de mar relativo	14
5.2.2.	Factores climáticos de cambio	20
5.2.3.	Factores antropogénicos de cambio	23
6.	ESCENARIOS PARA LA PROYECCIÓN DE IMPACTOS Y RIESGOS.....	26
6.1.	Escenarios climáticos.....	26
6.1.1.	Escenario C1: subida del NMMG de 50cm en 2100	26
6.1.2.	Escenario C2: subida del NMMG de 85cm en 2100	26
6.1.3.	Escenario C3: subida del NMMG de 2m en 2100	26
6.1.4.	Escenario C4: extrapolación histórica de la tendencia a largo plazo de la variable a 2040.	26
6.2.	Escenarios no climáticos: cambios en la vulnerabilidad	27
6.2.1.	Escenario V0: vulnerabilidad actual	27
6.2.2.	Escenario V1: Sociedad en 2040.....	28
7.	IMPACTOS EN ZONAS COSTEAS	29

7.1.	Impactos observados en costas españolas	29
7.1.1.	Inundación	29
7.1.2.	Intrusión salina	30
7.2.	Impactos en la costa cantábrica obtenidos por proyecciones	30
7.2.1.	Inundación y retroceso de la costa.....	30
7.2.2.	Cambio potencial por intrusión salina.....	32
7.2.3.	Impacto por inundaciones fluviales sobre el medio urbano	33
7.2.4.	Impacto por inundaciones por subida del nivel del mar sobre el medio urbano	33
8.	CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA	34
8.1.	Escenarios.....	34
8.2.	Análisis del riesgo	34
8.3.	Indicadores de riesgo	34
8.4.	Incertidumbres y necesidades de la información	35
8.4.1.	Incertidumbre inherente de los escenarios de cambio climático.	35
8.4.2.	Incertidumbre inherente de los escenarios socioeconómicos.....	35
8.4.3.	Limitaciones de las bases de datos disponibles.	35
8.4.4.	Aplicación de modelos de inundación simplificados.....	36
8.5.	Consecuencias sobre el sistema natural	36
8.5.1.	Pérdida potencial de humedales.....	36
8.5.2.	Pérdida de servicio de ecosistemas.....	36
8.6.	Consecuencias sobre el sistema socioeconómico.....	37
8.6.1.	Pérdida de operatividad y fiabilidad en puertos	37
8.6.2.	Consecuencias sociales.....	37
8.6.3.	Consecuencias económicas	37
9.	EVALUACIÓN DE COTAS DE INUNDACION	38
9.1.	Mareógrafo de Pasaia	38
9.2.	Cotas de inundación por escenario	40
10.	MEDIDAS CORRECTORAS.....	43
10.1.	Protección de núcleo de Pasaia.....	43
10.2.	Protección de zona interior de puerto y municipios colindantes	44
10.3.	Esclusa de retención en boca de entrada a puerto.....	45
11.	CONCLUSIONES	48
	ANEXO 1: PLANOS	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Actuaciones previstas y en desarrollo en el entorno (Fte: Asmatu S.L. Oferta de servicio para la redacción del proyecto constructivo de acceso y penetración al puerto de Pasaia).....	2
Figura 2.Detalle de los proyectos previsto y en ejecución en el entorno de la regata Molinao. (Fte.: Asmatu S.L.)	3
Figura 3.PTS Litoral. (Fte.: Geoeuskadi).....	4
Figura 4.UDALPLAN 2020 (Fte.: Geoeuskadi)	5
Figura 5. Planta del Masterplan para regeneración de la bahía de Pasaia. Fuente:krean.com.....	6
Figura 6.Línea de Deslinde DPMT aprobado. Fte.: Geoeuskadi	6
Figura 7.PTS Ríos y arroyos de la CAPV. Componente Urbanística.(Fte. Geoeuskadi)	7
Figura 8.Emplazamientos potencialmente contaminados en el ámbito de estudio (Fte. Geoeuskadi) .	7
Figura 9.Detalle de la futura estación de Pasaia proyectada y paso de la regata Molinao	9
Figura 10.Paso de la regata Molinao	10
Figura 11.Esquema conceptual de cómo el cambio climático afecta al sistema costero generando consecuencias sobre los sistemas humanos naturales. Fuente:C3E, IH Cantabria	12
Figura 12. Datos de mareógrafo en Pasaia. Fuente: Puertos del Estado	33
Figura 13. Datos de nivel del mar y residuo nivel-marea en mareógrafo de Pasaia en el mes de Septiembre de 2020. Valor máximo de 5.27m (REDMAR).Fuente: Puertos del Estado.....	40
Figura 14. Planta de inundación cota +5.0. Protección de núcleo de Pasajes.	43
Figura 15. Planta de inundación cota +5.0. Protección perimetral de ensenada.	44
Figura 16. Planta general de emplazamiento de esclusa en entrada de puerto.....	45
Figura 17. Detalle de Planta de esclusa con trazado de canal de navegación estimado a determinar en proyecto.	46
Figura 18. Detalle de secciones de esclusa y dique de protección.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores máximos de incremento de nivel del mar en escenarios pésimos previstos en 2100	38
Tabla 2. Datos de mareógrafo de Pasaia año 2020. Cotas REDMAR. Fuente: Puertos del Estado.	39
Tabla 3. Cotas de inundación previstas por escenario.	40
Tabla 4. Protección de núcleo de Pasaia. Áreas protegidas e inundadas en Planta de cota de inundación +6.0	44
Tabla 5. Protección del Puerto. Areas protegidas e inundadas en Planta de cota de inundación +6.0	45

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del proceso de regeneración de la Bahía de Pasaia impulsado por la Diputación Foral de Gipuzkoa, dentro de su plan estratégico de Gestión 2019-2023, el departamento de Movilidad y Ordenación del territorio está liderando una serie de actuaciones, entre las que destacan la construcción de un parking en el área de Hospitalillo, el centro del envejecimiento Adinberri y otras actuaciones urbanas en el espacio de interacción puerto-ciudad.

Por otra parte, el ascenso del nivel del mar y la intensificación de eventos extremos debidos al cambio climático puede causar importantes impactos a lo largo del siglo XXI. Entre los que cabe destacar, como y así viene evidenciado desde hace décadas, la subida del nivel del mar. Además, las proyecciones a lo largo del siglo XXI concluyen que el nivel del mar en la costa seguirá aumentando.

Dado que las actuaciones previstas en el municipio de Pasaia se sitúan a nivel del mar, y que se trata de actuaciones urbanísticas y de equipamientos con intención de permanencia en el tiempo, interesa realizar un diagnóstico preliminar de los riesgos y vulnerabilidad de municipio de Pasaia asociados a la subida del nivel del mar en base a las proyecciones para distintos escenarios de cambio climático. Teniendo en cuenta que el departamento de Movilidad y Ordenación del Territorio carece de los medios propios necesarios para abordar el trabajo se ha requerido la contratación de los servicios de asistencia técnica para la redacción de un informe de evaluación preliminar de la vulnerabilidad derivada del cambio climático en Pasaia.

2. CONOCIMIENTO DEL MEDIO

Se ha recogido toda la información ambiental que pudiera resultar de interés en el área de estudio y sus inmediaciones, que nos permita definir de manera más precisa el incremento de la inundabilidad debido al cambio climático, así como las medidas preventivas, correctoras o compensatorias más adecuadas para cada escenario previsto en el presente estudio.

Entre las fuentes consultadas se citan los estudios detallados en el anexo correspondiente, así como la información publicada en las diferentes fuentes gubernamentales y las visitas de reconocimiento a campo, amén de cartografía ambiental de los organismos oficiales. A partir de esta información gráfica realizaremos los mapas de diagnóstico ambiental, que mostrará los condicionantes en el ámbito (inundabilidad, deslindes, emplazamientos potencialmente contaminados, entre otros).

Por último se referencia en el presente estudio la Normativa europea, estatal, autonómica y/o local que resulta de aplicación al proyecto. Entre los documentos normativos a los que haremos referencia se citan los siguientes:

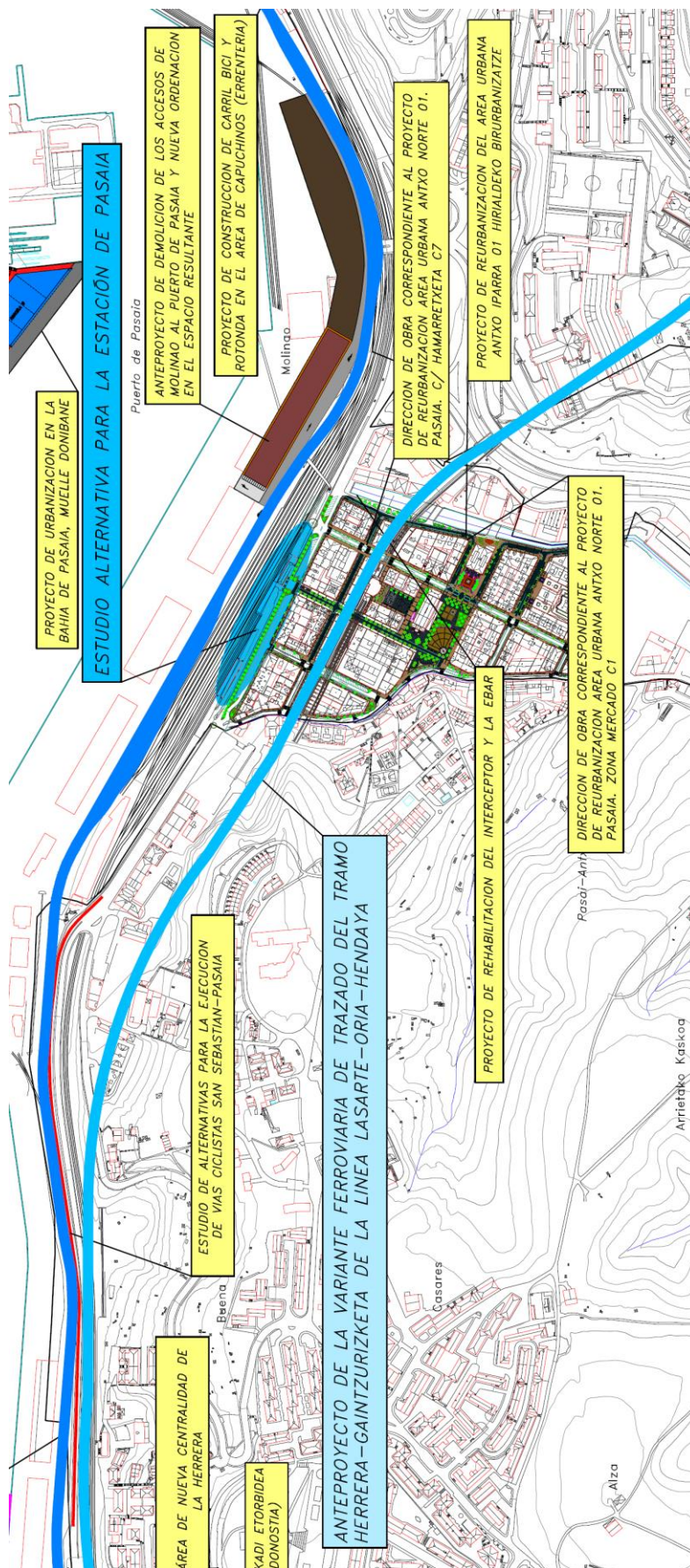


Figura 2. Detalle de los proyectos previsto y en ejecución en el entorno de la regata Molino. (Fte.: Asmatu S.L.)

3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

3.1. Planeamiento

- Plan Territorial Sectorial de la red Ferroviaria en la CAPV. Aprobado por DECRETO 41/2001, de 27 de febrero. Modificación del Plan Territorial Sectorial de la Red Ferroviaria en el Territorio Histórico de Gipuzkoa (mediante la Orden de 25 de enero de 2005).
- Modificación del Plan Sectorial de la Red Ferroviaria en Guipúzcoa (2004).
- Plan Especial de Ordenación de la Zona de Servicio del Puerto de Pasajes (Enero 2018).
- Anteproyecto del Masterplan para la regeneración urbana de la Bahía de Pasaia.
- Plan especial de ordenación de la zona de servicio del puerto de Pasajes. O.M. de 20 de noviembre de 1990.
- Plan Territorial Parcial de Donostialdea-Bajo Bidasoa. Aprobado por Decreto 121/2016, de 27 de julio.
- Directrices de Ordenación del Territorio, aprobadas por Decreto 128/2019, de 30 de julio.
- Plan Territorial Sectorial del Litoral. Aprobado definitivamente mediante Decreto 43/2007, de 13 de marzo.



Figura 3.PTS Litoral. (Fte.: Geoeuskadi)

- Ley 22/1988, de 28 de julio, de costas
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de patrimonio natural y de la biodiversidad.

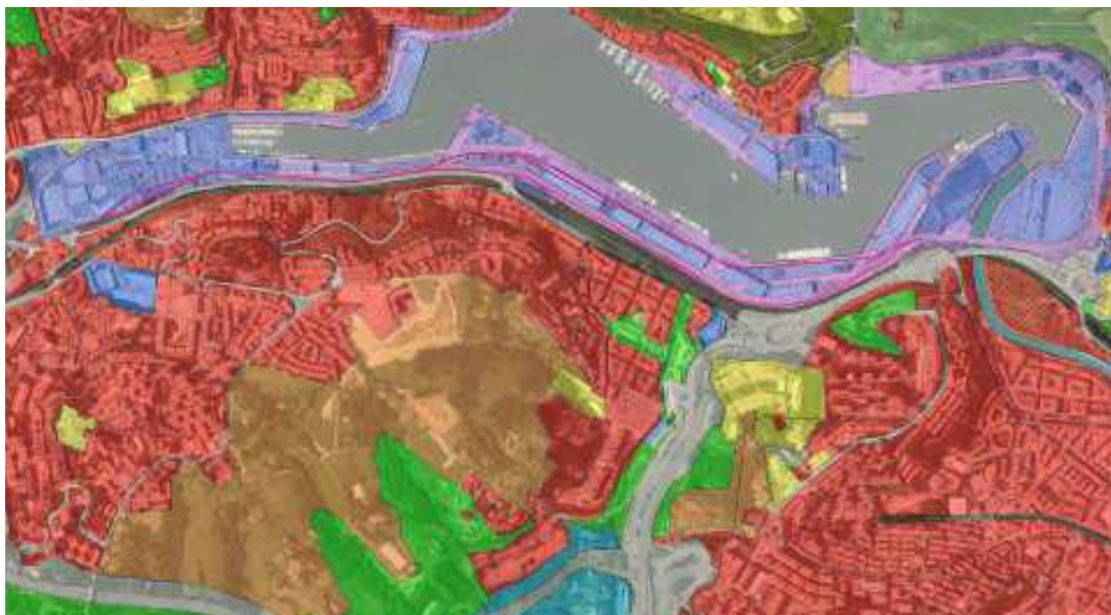


Figura 4. UDALPLAN 2020 (Fte.: Geoeuskadi)

3.2. Plan Territorial Sectorial (PTS) de la Red Ferroviaria en la CAPV

El PTS de la Nueva Red Ferroviaria en la CAPV, promovido por el Departamento de Transportes y Obras Públicas del Gobierno Vasco y aprobado por Decreto 41/2001 de 27 de febrero, introduce un nuevo escenario para la conexión ferroviaria con el Puerto de Pasajes del tráfico ferroviario y cuyo objetivo es el aumento del tráfico de mercancías ferroviario.

Se plantea la construcción de una nueva red ferroviaria de la línea Madrid – Irún en la que se instale el ancho internacional y el acceso al puerto de Pasajes.

Por otro lado se plantea la conexión de Euskotren con el puerto de Pasaia.

Estos dos proyectos ya se encuentran licitados y adjudicados en el año 2021 estando en curso en estos momentos.

3.3. Modificación del Plan Sectorial de la Red Ferroviaria en Guipúzcoa (2004)

Se define el acceso al Puerto de Pasajes de la red ferroviaria con más detalle que el PTS de CAPV.

3.4. Plan Especial de Ordenación de la Zona de Servicio del Puerto de Pasajes

Se prevé la conexión con el puerto de Pasajes por ferrocarril desde la estación de ETS de Herrera integrándola dentro del puerto mediante vías estuchadas. Este aspecto se recoge en el proyecto de Penetración del Puerto.

3.5. Anteproyecto del Masterplan para la regeneración urbana de la Bahía de Pasaia

Aunque es un proyecto que quedó paralizado se incluye por ser una propuesta de regeneración que puede resurgir en algún momento.

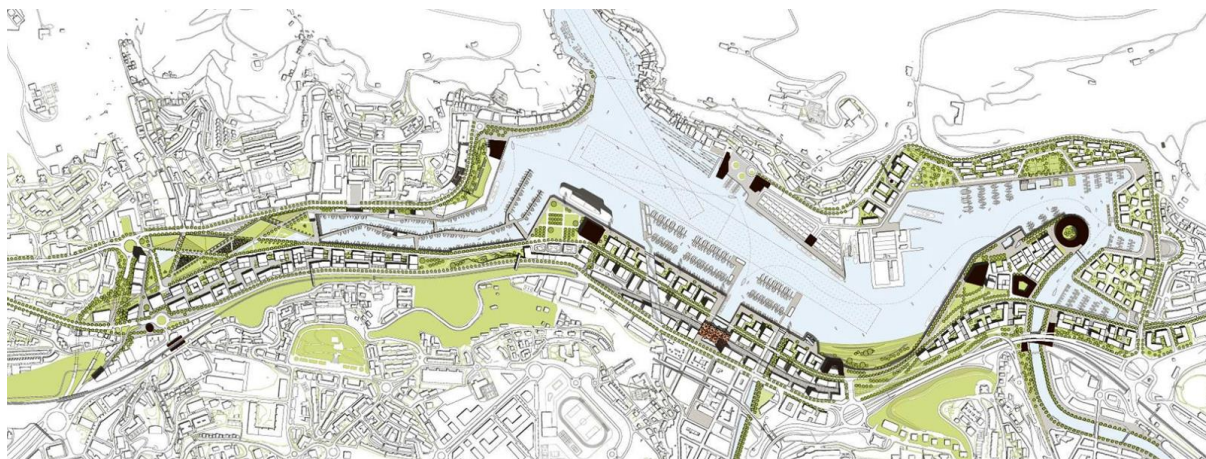


Figura 5. Planta del Masterplan para regeneración de la bahía de Pasaia. Fuente: kream.com

3.6. Aguas

- DIRECTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de junio de 2008 por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina)
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas
- Ley 1/2006, de 23 de junio, de Aguas del País Vasco.

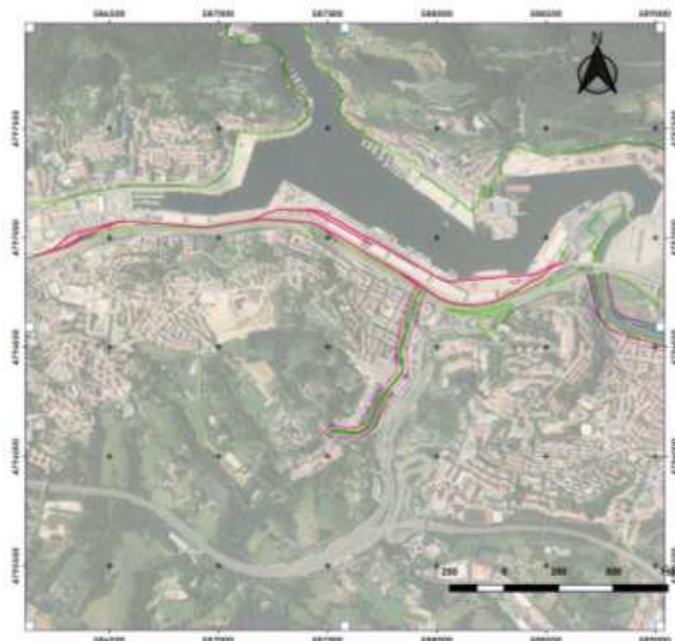


Figura 6. Línea de Deslinde DPMT aprobado. Fte.: Geoeuskadi

- Plan Territorial Sectorial de ríos y Arroyos de la CAPV. Vertiente Cantábrica.



Figura 7.PTS Ríos y arroyos de la CAPV. Componente Urbanística.(Fte. Geoeuskadi)

La zona se localiza dentro de Márgenes en ámbitos desarrollados, según el PTS de ríos y arroyos, en lo relativo a retiros, usos autorizados.

3.7. Suelos

- LEY 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.
- DECRETO 209/2019 de 26 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 4/2015, de 25 de junio para la prevención y corrección de la contaminación del suelo.

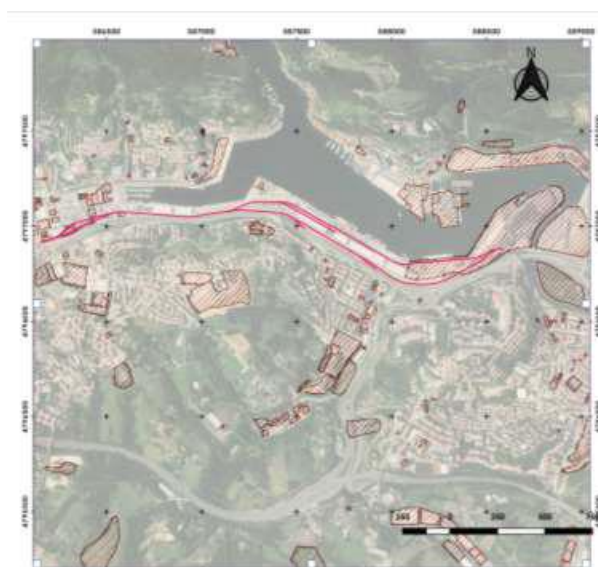


Figura 8.Emplazamientos potencialmente contaminados en el ámbito de estudio (Fte. Geoeuskadi)

4. PROYECTOS EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO

Se presentan en este apartado los proyectos previstos o en ejecución y que se localizan en este ámbito son los siguientes:

4.1. Anteproyecto de la variante ferroviaria del trazado del tramo Herrera-Gantzurizketa de la línea Lasarte-Oria-Hendaia.

Tras la previsión de ETS del aumento del transporte de mercancías en las líneas que recorren la cornisa cantábrica, se prevé la necesidad de desdoblarse algunos tramos de vía y mejorar las características de trazado existente.

Este planteamiento se ha hecho compatible con la filosofía del Plan Territorial Sectorial de la Red Ferroviaria en la CAPV cuyo objetivo es potenciar el tráfico de mercancías por ferrocarril. Se incluyen las siguientes líneas:

- Se incluye, para el acceso al puerto de Pasajes, la construcción de un ramal de ancho internacional que desde la frontera francesa conecte con la línea actual de mercancías de ADIF hasta Pasaia mediante ancho UIC y de mercancías.
- Respecto a ETS se plantea la conexión de la red de Euskotren con el Puerto de Pasajes. Este proyecto está en curso tras la licitación ya adjudicada del Proyecto de Penetración del Puerto de Pasaia.

4.2. Proyecto de Penetración del puerto de Pasaia

Este proyecto ya se encuentra en proceso de ejecución. Recoge el acceso al puerto que ya mencionado en el PTS de la red ferroviaria de la CAPV promovido por ETS.

4.3. Proyecto constructivo del metro de Donostialdea. Tramo Altza-Galtzaraborda



Figura 9. Detalle de la futura estación de Pasaia proyectada y paso de la regata Molinao

La estación de Pasaia se encuentra entre el inicio del falso túnel que cierra el tramo Altza-Pasaia (PK 1+934,200) y el fin del falso túnel de la propia estación (PK 2+156,000).

Se plantea una estación soterrada bajo la plaza anexa a la calle Gure Zumardia. El acceso se situará en la calle Eskalantegi y el ascensor en la misma plaza. La salida de emergencia se situará en la calle San Marcos.

Pese a ser una estación soterrada, se encuentra a una cota relativamente superficial, por lo que su sección tipo responde a la de una estación construida entre pantallas en lugar de caverna. El edículo de acceso se sitúa en la intersección de las calles Eskalantegi y Zumalakarregi. Es necesario plantear una salida de emergencia adicional en la zona donde se sitúa el actual edificio de mercado, que será previamente demolido.

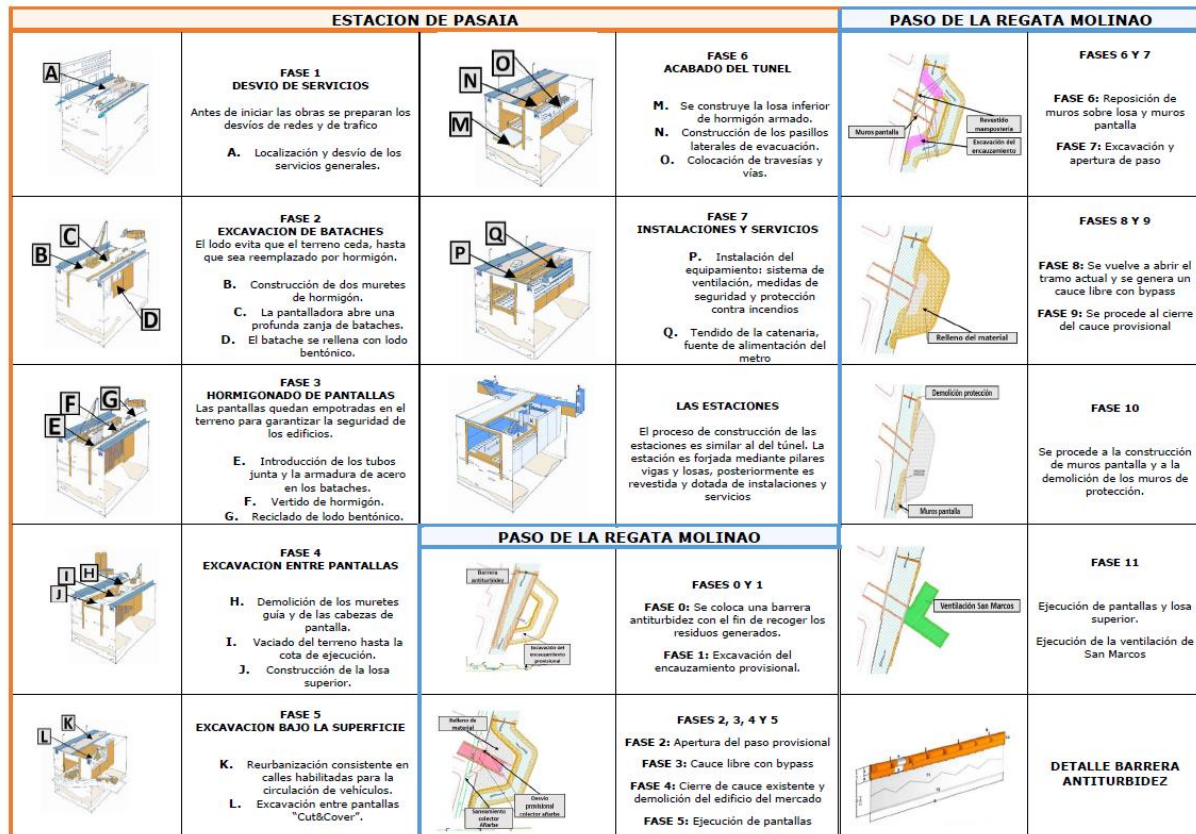


Figura 10. Paso de la regata Molinao

4.4. Otras obras de importancia

- Proyecto de rehabilitación del interceptor y la EBAR de Pasai-Antxo.
- Proyecto de reurbanización Área Urbana Antxo Norte 01 Pasaia. Zona mercado .
- Proyecto de reurbanización del área urbana Antxo Norte 01. Pasaia
- Proyecto de reurbanización del área urbana Antxo Iparra 01 Hirialdeko biurbanitzate.
- Anteproyecto de demolición de los accesos de Molinao al puerto de Pasaia y nueva ordenación del ámbito resultante
- Proyecto de construcción del carril bici y rotonda en el área de Kaputxinos (Erreterria)

5. CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA

5.1. Costa Cantábrica

La vertiente Atlántica se caracteriza por la existencia de una gran cadena montañosa que llega hasta al mar, la ausencia de llanuras costeras, y por la gran energía de los temporales. Debido a lo templado del clima, la Temperatura es suave a lo largo del año, y la humedad relativa es alta.

La línea de costa es sensiblemente rectilínea y alargada, y además las pendientes de la misma son bastante pronunciadas. Esto provoca gran sedimentación en las desembocaduras de los ríos, que por norma general suelen ser de corta longitud y cuencas reducidas.

Debido a la gran variabilidad en el tipo de costas de la península, existe también obviamente una gran variedad en cuanto a la dinámica marina.

En el caso concreto de la zona objeto de estudio en este documento, que se circunscribe al golfo de Vizcaya, la dinámica marina más importante a tener en cuenta son las mareas, ya que el otro factor determinante como puede ser el oleaje no tiene demasiada importancia, por lo reducida extensión del golfo.

Las mareas representan el principal configurador de los estuarios en esta zona, ya que los flujos y reflujos continuos de las corrientes marinas rápidas movilizan cantidades de agua muy superiores a las de los caudales fluviales de los ríos. Otro factor importante a tener en cuenta es la marea astronómica, que puede provocar carreras de mareas de amplitudes importantes. En el caso de Santander este valor puede variar entre los 4 y los 5 m. De igual manera, las mareas meteorológicas (fenómeno debido a la bajada de la presión atmosférica provocada por borrascas sumado al efecto del viento sobre la superficie del mar) pueden alcanzar valores en la cornisa cantábrica de hasta 50cm.

Desde el punto de vista socioeconómico, hay que tener en cuenta la enorme influencia de la zona costera del país. Aparte de la gran diversidad biológica, de paisajes, de singulares características oceanográficas, es notoria la enorme influencia de todas las actividades vinculadas al mar.

Aparte de la enorme tradición pesquera existente en España, existen otras actividades generadoras de riqueza relacionadas con la acuicultura, el turismo y la generación de energía que han ido provocando una migración muy importante de la población hacia las zonas costeras. Esto ha provocado que se haya producido un notorio crecimiento en la ocupación del suelo litoral, que ha pasado de apenas el 12% en 1950 hasta prácticamente el 75% en el año 2006 (Losada 2010). Este incremento tiene en el Turismo su causa más importante.

Todo ello contribuye a la enorme relevancia que ha cobrado la actividad portuaria, convirtiendo los puertos españoles, debido a su situación geoestratégica, en la puerta de entrada a Europa y por tanto en un *hub* logístico de primer orden.

En los últimos años, además se viene desarrollando un importante auge en el campo energético, aprovechando tanto la energía de las olas (energía undimotriz), como de las mareas (energía mareomotriz). Caber reseñar que España cuenta en Mutriku, con la primera planta mareomotriz comercial de Europa.

Se deduce, tras la exposición previa, que la explotación intensiva que se ha hecho y se hace del litoral ha provocado un tensionamiento del mismo, que sumado a la presión urbanística y a los efectos del cambio climático, incrementan la vulnerabilidad y la degradación sufrida. Se están provocando entonces alteraciones y desequilibrios en las zonas costeras tanto por efectos de origen antropológico (sistema socioeconómico) como por el cambio climático (sistema natural).

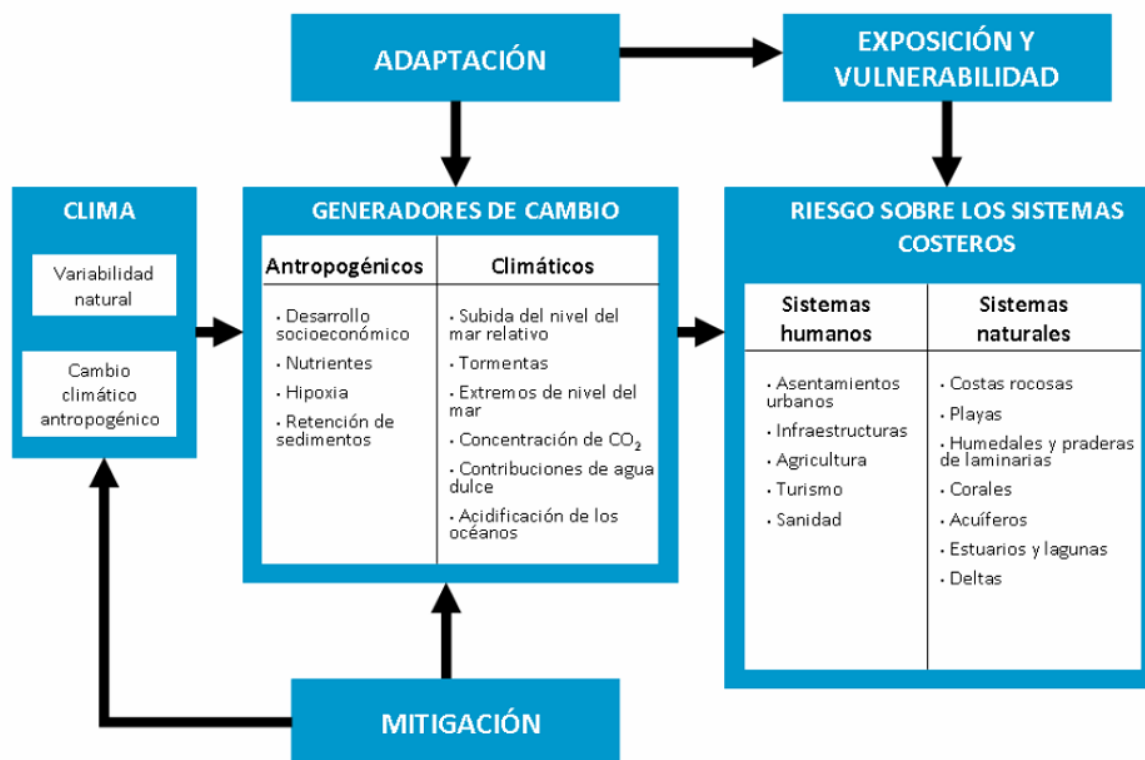


Figura 11. Esquema conceptual de cómo el cambio climático afecta al sistema costero generando consecuencias sobre los sistemas humanos naturales. Fuente: C3E, IH Cantabria

5.2. Factores de cambio

Los análisis de estudios recientes, señalan que los cambios que se están produciendo en el sistema climático son más rápidos de lo que se esperaba. El nivel medio del mar ha subido entre 1.5-1.9 mm/año entre 1900 y 2010 y entre 2.8 y 3.6 mm/año entre 1993 y 2010 (IPCC-AR5).

Todos los estudios concluyen que las tasas de aumento en las costas españolas están entre 1 y 3 mm/año.

Existen una serie de factores en los que se han detectado cambios en los últimos años:

- Intensidad del oleaje. Se ha detectado un crecimiento en la costa cantábrica
- Acidificación de los océanos
- Temperatura del agua
- Aportación de agua dulce

Existen otra serie de factores, cuya raíz es no climática y antropogénica que contribuyen al aumento del impacto del cambio climático en la costa:

- Hipoxia
- Desvío de caudales
- Retención de sedimentos
- Subsistencia natural de las zonas costeras

En este último factor tiene gran relevancia el notable crecimiento urbanístico en las zonas costeras, que ha contribuido a la rigidización de los entornos litorales.

Entre los factores de origen climático, se deben destacar:

- Cambios en el nivel mar relativo
- Cambios en la temperatura en superficie del océano
- Cambios en las tormentas/temporales
- En los extremos de nivel del mar
- Concentración de CO₂
- Acidificación
- Contribuciones de agua dulce.

La Tabla 2 resume los principales efectos físicos y químicos de los factores de cambio climático a nivel global para los sistemas costeros, sus tendencias observadas desde el AR4 y las proyecciones incluidas en el AR5.

Factores climáticos	Efecto	Tendencias	Proyecciones
Nivel del mar	Sumergencia, daños por inundación, erosión costera; intrusión salina; cambios en el nivel freático; cambio y pérdida de humedales	Aumento muy probable (>90%) del nivel medio del mar global (5.3.2.2. AR5 WG1 Capítulos 3.7.2, 3.7.3)	Aumento muy probable (>90%) del nivel medio del mar global. Variabilidad regional
Niveles del mar extremos	Inundación y erosión costera; intrusión salina	Grado de confianza alto (en torno a 8 sobre 10) de aumento de niveles del mar extremos debido al aumento del nivel medio del mar global (5.3.3.3, WG1 Capítulo 13).	Incremento con grado de confianza alto (en torno a 8 sobre 10) debido al aumento del nivel medio del mar global. Los cambios debidos a los cambios en las tormentas tienen un grado de confianza bajo (en torno a 2 sobre 10).

Tabla 2: Fuente: Cambio climático en la costa española-C3E (IH cantabria-Universidad de Santander)

5.2.1. Nivel de mar relativo

El nivel del mar viene determinado por 3 factores:

- Nivel medio del mar
- Marea astronómica
- Marea meteorológica

La marea astronómica es un fenómeno que se puede acotar, puesto que depende de la atracción solar y lunar. La marea meteorológica es más difícil de acotar puesto que depende de fenómenos atmosféricos.

Se ha constatado que la subida del nivel de mar es un fenómeno que depende directamente del cambio climático, y es una gran amenaza para los sistemas costeros. Es un fenómeno de lenta variación, pero continuado.

El nivel relativo del mar, se ve afectado por tres componentes diferenciadas:

- Nivel del mar de forma global, que ya se ha explicado anteriormente
- Nivel del mar regional
- Nivel del mar local

En las dos últimas variables, tienen gran incidencia por un lado los modos naturales de la variabilidad del clima, así como los movimientos que se producen en la corteza terrestre.

Los movimientos en la corteza terrestre, están provocados por dos causas principales:

- Subsistencia inducida
- Isostasia glaciar.

La subsidencia es un fenómeno que se da en las llanuras costeras y que consiste en un hundimiento del terreno debido al asentamiento que se produce en el mismo por la acumulación de sedimentos, pero que se puede ver acelerada por el efecto del hombre en zonas muy urbanizadas, por la gran rigidización que se produce en los suelos o bien mediante la extracción de gas, petróleo etc.

La isostasia glaciar sería un fenómeno contrario a la subsidencia. Las masas de tierra sobre la que se acumula gran cantidad de hielo, se van elevando a medida que se va produciendo el deshielo de este.

Tanto uno como el otro, producen variaciones en el nivel del mar. En el caso de la subsidencia, se produce un aumento del mismo, mientras que en el caso de la isostasia glaciar el efecto es contrario y se produce un descenso en el nivel.

Se puede concluir por tanto, que el nivel del mar relativo varía de un punto a otro de la costa.

5.2.1.1. Nivel del mar global

Este nivel del mar se ve afectado por dos factores, que a su vez están relacionados directamente entre sí:

- Aumento de temperatura del agua, que afecta a su volumen

- Deshielo

A medida que se incrementa la temperatura del agua (proceso mucho más lento que el calentamiento del aire de la atmósfera), se produce una expansión del volumen de agua, y que por tanto redunda en un aumento en el nivel del mar.

El mismo incremento de temperatura del que se hablaba anteriormente, provoca un aumento en el efecto del deshielo.

Durante el siglo XX hasta el año 1990, los efectos de la expansión térmica del agua de los océanos ha sido el responsable de al menos un tercio de la subida del nivel del mar global.

El ascenso medio del nivel del mar global entre 1880-2009 ha sido aproximadamente de 210 mm (Church y White, 2011). Existe una considerable variabilidad de la tasa de ascenso a lo largo del siglo XX. El registro de cambios pasados en el nivel del mar, a escala global, se ha realizado mediante datos de satélite (desde 1993) y reconstrucción de observaciones del nivel del mar (periodo 1880-2009). Desde 1993, la alta calidad de los datos de satélite ha permitido un modelado más preciso del cambio en el nivel medio del mar global (Figura 9). La estimación en la tasa de ascenso para la era satelital corresponde a $3,2 \pm 0,4$ mm/año, mientras que para el período precedente es de $2,8 \pm 0,8$ mm/año.

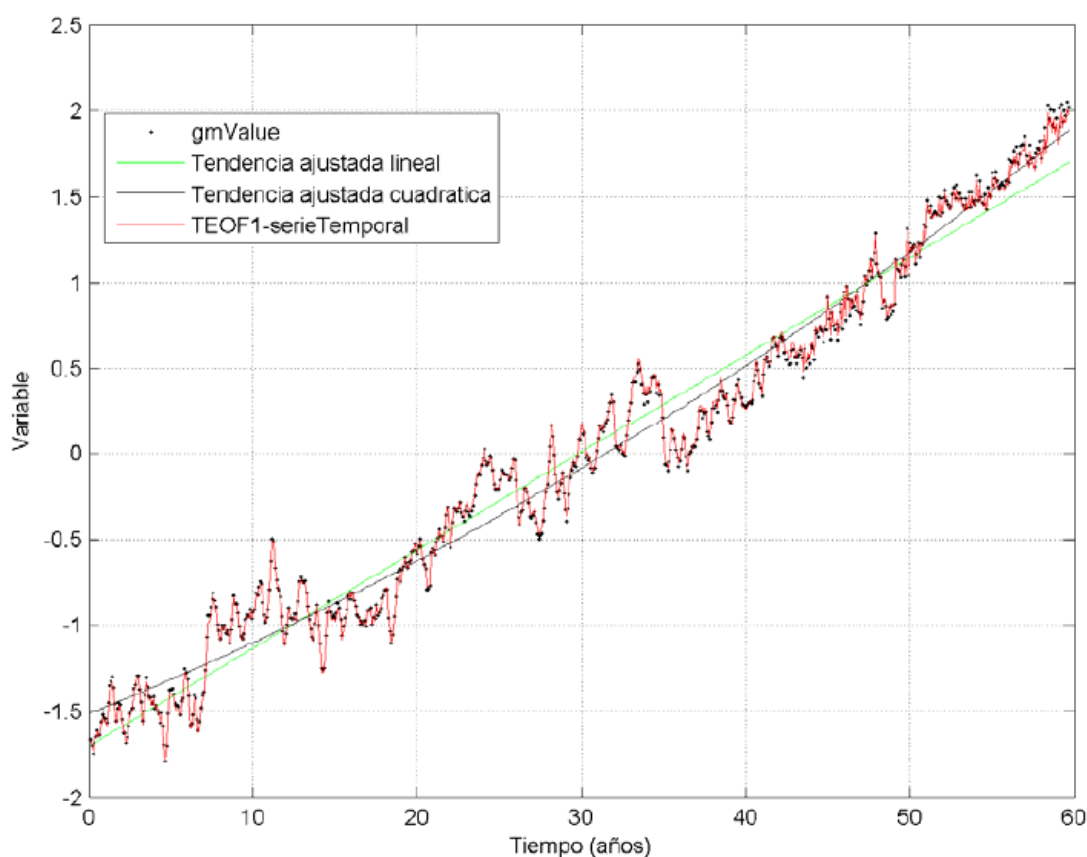


Figura 9. Tendencia y reconstrucción obtenida para el nivel medio del mar global. En rojo se representa la serie temporal del primer modo de la Trend-Eof mientras que los puntos negros (no coincidentes) representan el nivel medio global de la base de datos instrumental. Además, en verde y negro se representa las tendencias ajustadas, lineal y cuadrática, respectivamente. Fuente: IH Cantabria.

Es importante conocer el comportamiento del nivel global del mar pasado, pero también es poder hacer proyecciones a futuro. La proyección más habitual consiste en conocer el nivel medio del mar para finales del siglo XXI.

Mediante “escenarios de emisiones (SRES)”, El Panel intergubernamental de Cambio climático (IPCC) puede ofrecer proyecciones de las elevaciones del mar más fiables.

El IPCC ofreció en su Cuarto Informe de Evaluación (AR4) un valor del aumento del nivel del mar entre 1990 y final de siglo XXI, un valor de 18-70cm.

No obstante este estudio no reflejaba un valor superior de la cota de subida del nivel del mar, debido que el deshielo de la Antártida y Groenlandia introducía un valor de incertidumbre bastante importante, hecho que se reflejó en el Informe de Síntesis del IPCC (2007). Los estudios más recientes realizados en torno a esta cuestión arrojan unos valores que se encuentran en la parte superior del intervalo.

Es por ello que se han realizado nuevos estudios, que han abierto un debate sobre las estimaciones del IPCC. Modelos semiempíricos (Vermeer & Rahmstorf, 2009) muestran valores que van desde los 75cm (valor superior para AR4) y los 2.00 m.

El consenso general entre la comunidad científica es que para finales de siglo XXI, que con toda seguridad el valor máximo dado por el IPCC se alcanzara con total seguridad, sin poder descartar que ese valor aumente hasta los 1 o 1.5 m (Steffen, 2009).

De cara a reflejar los avances que se van obteniendo en las investigaciones, IPCC se decidió a crear una serie de nuevos escenarios denominados Rutas Representativas de concentración (RCP en inglés).

Estos nuevos RCP buscar integrar con mayor bondad las relaciones entre las cuestiones socioeconómicas, climáticas y las vulnerabilidades del sistema natural y humano.

Para ello cada escenario parte de una emisión determinada de gases de efecto invernadero:

- RCP2.6: escenario con bajas emisiones, cuyo pico se alcanza a mitad del siglo XXI.
- RCP4.5: escenario en el cual las emisiones se estabilizan antes de 2100.
- RCP6.0: escenario en el cual las emisiones se estabilizan después de 2100.
- RCP8.5: escenario que representa unas altas tasas de emisión de gases de efecto invernadero.

Los resultados de la respuesta del mar a cada uno de los escenarios, se representa de forma gráfica y se compara con los valores del escenario SRES A1B.

Los resultados obtenidos, reflejan que las proyecciones para los diferentes escenarios con muy similares para el intervalo 1980-2000 (valores comprendidos entre los 0.17 y 0.38m), pero las proyecciones a futuro (finales siglo XXI), son muy diferentes, variando entre los 0.28 y los 0.97m.

Escenarios RCP	Subida del nivel del mar (m)	
	2046-2065	2100
RCP2.6	0,24 [0,17 – 0,31]	0,43 [0,28 – 0,60]
RCP4.5	0,26 [0,19 – 0,33]	0,52 [0,35 – 0,70]
RCP6.0	0,25 [0,18 – 0,32]	0,54 [0,37 – 0,72]
RCP8.5	0,29 [0,22 – 0,37]	0,73 [0,53 – 0,97]

Tabla 3. Proyecciones de nivel medio del mar global en m relativo al período 1986-2005, basado en la expansión termal de los océanos calculada mediante modelos climáticos, la contribución de los glaciares, Groenlandia y Antártida, y la contribución de reservas de agua terrestre. Los resultados muestran el valor medio y los límites superior (intervalo de confianza del 95%) e inferior (intervalo de confianza del 5%). Fuente: WGI, AR5 (IPCC, 2013).

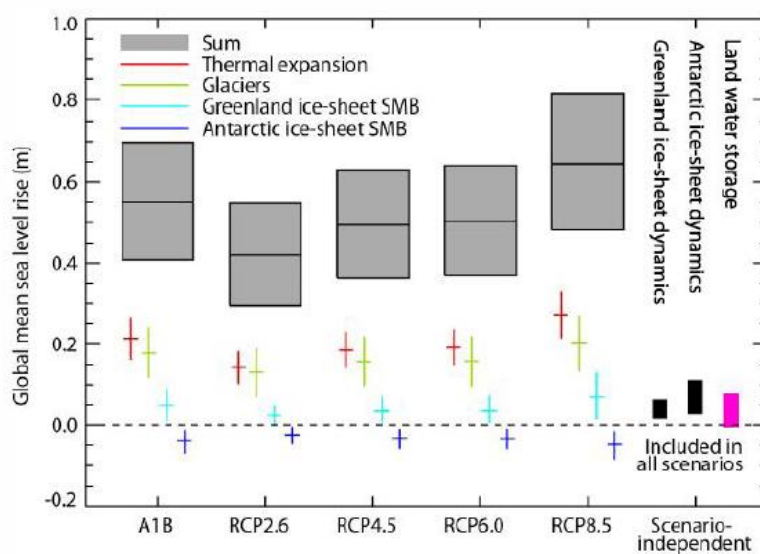


Figura 10: Proyecciones e incertidumbre (rangos del 5 al 95%) de medias globales de aumento del nivel del mar y sus componentes en el período 2081 a 2100 (relativo al período 1986-2005) para los cuatro escenarios RCP y el escenario SRES A1B utilizado en el AR4. Fuente: WGI, AR5 (IPCC 2013).

5.2.1.2. Nivel medio del mar Regional

Un análisis de los últimos 60 años, permiten llegar a la conclusión de que el nivel medio del mar ha aumentado unos 2mm/ año en el mar cantábrico.

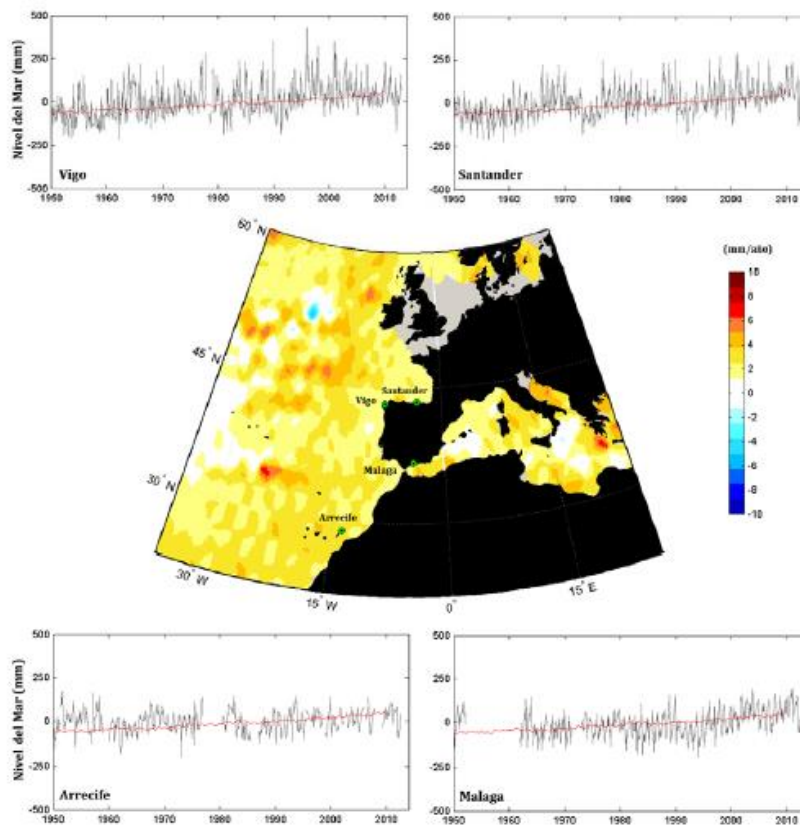


Figura 11: Mapa con los cambios estimados del nivel del mar durante el periodo 1993-2012 a partir de datos de altimetría de satélite. También se muestran los cambios relativos de nivel del mar medidos insitu en diferentes estaciones de la costa española para el periodo 1950-2013 (línea gris) y para comparación con los registros locales se muestra el cambio global del nivel medio del mar (línea roja). Fuente: IH cantabria.

El informe concluye que desde inicios de siglo XX hasta los años 90, el factor dominante ha sido el forzamiento atmosférico, presión atmosférica y velocidad del viento. Estos fenómenos produjeron una bajada del nivel del mar, efecto contrario a lo acaecido en el resto del globo

A partir de los años 90, una bajada en la presión atmosférica combinada con el aumento de temperaturas provocó un ascenso de entre 2.5 mm y 10 mm/año.

La siguiente tabla refleja el resumen de los varios estudios realizados.

Estudio	Observaciones de datos instrumentales
Marcos et al. 2005	Santander: +2,12 mm/año Coruña: +2,51 mm/año Vigo: +2,91 mm/año
Marcos et al. 2009	Atlántico: +1,84 mm/año en Santander +2,64 mm/año en Vigo Mediterráneo: -0,61 mm/año en Alicante +0,48 mm/año en Ceuta
IEO	L'Estartit y Bahía de Málaga: entre +2 mm/año y +10mm/año

Tabla 4: Tabla comparativa de resultados de varios estudios sobre el nivel del mar en España.
Fuentes varias

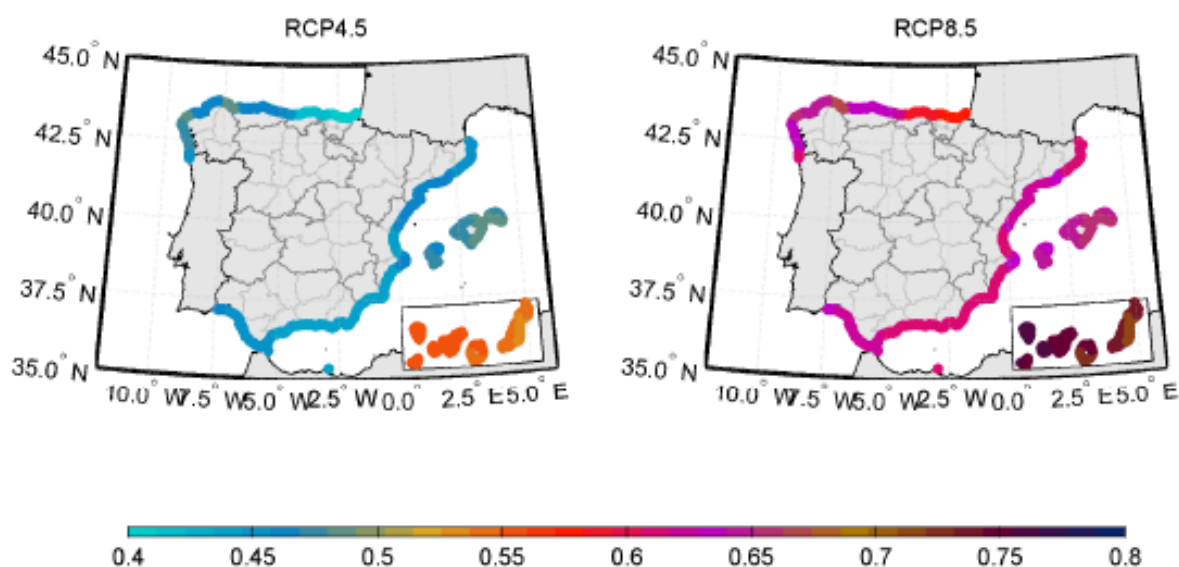


Figura 11: Resultados de los diferentes RCP estudiados para el periodo 2081-2100
Incremento del nivel del mar en la cota española. Fuente: adaptado de Slangen et al. (2014)

5.2.1.3. Nivel medio del mar local

Se recoge en este punto el efecto de la subsidencia transformándolo en un incremento de cota del nivel del mar.

No existen estudios pormenorizados sobre la elevación de la corteza terrestre debidos a la subsidencia en la zona objeto de estudio.

Se han estimado valores considerados por las hipótesis del estudio C3E del Ministerio de Medio Ambiente (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014)

5.2.2. Factores climáticos de cambio

El aumento de la emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico, muestran un cambio en el sistema climático más rápido de lo que se pensaba, por lo que los sistemas costeros españoles se verán afectados por el cambio climático.

5.2.2.1. Extremos del nivel del mar

Dado el carácter determinista de la marea astronómica, se considera que el causante principal de los valores extremos del nivel del mar estará debido a las mareas meteorológicas.

Los valores obtenidos para un período de retorno de 50 años, varían cerca de 50cm en la cornisa cantábrica.

En los últimos 60 años se observan cambios significativos. Comparando los valores de ambas gráficas se verifica que ha habido una ligera disminución de los valores máximos, con una reducción del entorno de -0.05cm/año.

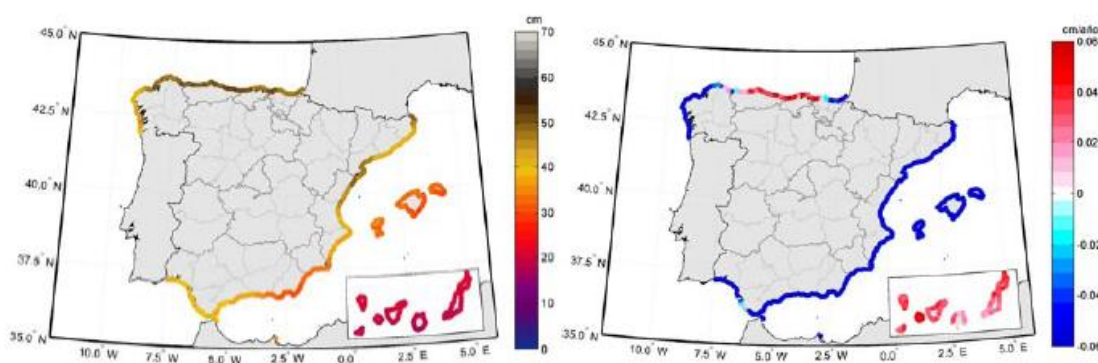


Figura 12: Izqda.: Marea meteorológica con período de retorno de 50años.
Dcha.: Tasa de cambio observada en los últimos 60 años
Fuente: IH Cantabria

Se han observado tendencias negativas de crecimiento de nivel del mar debidas a la contribución de la marea meteorológica en la costa norte. Concretamente en Santander, A Coruña y Vigo se han obtenido valores de -0.44, -0.27 y -0.21 mm/año respectivamente (Marcos, y otros, 2005).

Las proyecciones realizadas a futuro muestran una disminución del nivel del mar a lo largo del siglo XXI, especialmente fuerte en invierno. Se concluye por tanto que el aumento del nivel del mar, no está particularmente afectado por la marea meteorológica, sino más bien al aumento del nivel medio del mar y a la variabilidad climática.

5.2.2.2. Cambios observados en el oleaje. Aguas costeras

El oleaje es la respuesta natural de la superficie del mar a las variaciones de las condiciones atmosféricas.

El mar cantábrico presenta el clima marítimo más severo, con oleajes dominantes del noreste con alturas de ola media de 2-2.5m y un periodo de pico medio de 10 segundos. La latitud de la costa norte, hace que en invierno los oleajes sean bastante más severos, pudiendo registrarse olas de altura 9 m para un período de retorno de 50 años. Estos valores se corresponderían con estudios en aguas abiertas. Ahora bien, a medida que la ola se aproxima a la costa va perdiendo energía ya sea por los accidentes geográficos naturales o artificiales, no obstante sigue conservando su patrón de variabilidad espacial y temporal.

En el Cantábrico el valor de la altura de la ola media anual está en torno a 1-1.5m. La caracterización del oleaje que llega a la costa es fundamental, porque de ello depende el correcto diseño de las infraestructuras, gestión de la costa, etc.

Para ello se utiliza un parámetro denominado H_{s12} , que es la altura de la ola significativa sólo excedida durante 12 horas al año. De este parámetro dependen varios factores a tener en cuenta:

- Erosión potencial
- Flujo medio de energía
- Arrastre de sedimentos

En la costa cantábrica es donde mayores valores H_{s12} se registran (hasta 1.4cm/año en los últimos años) como se puede observar en la siguiente gráfica.

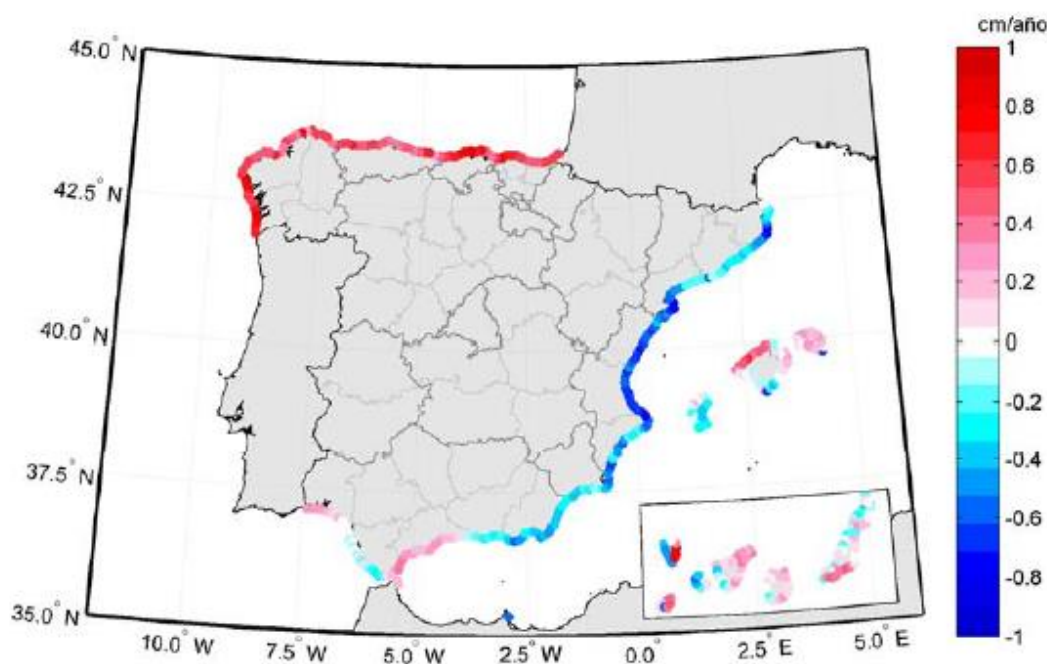


Figura 13: Valores H_{s12} en los últimos 60 años. Fuente: IH Cantabria

Las proyecciones muestran una disminución de la altura de ola media en todo el litoral de España. Hasta la mitad del siglo XXI los valores observados en los tres escenarios estudiados (A2, A1B, A1) muestran un cambio en la altura de ola media prácticamente nulo. A partir de la segunda mitad de siglo los cambios con respecto al siglo XX ya empiezan a ser significativos.

Las mediciones en el flujo medio de energía presentan patrones de variación de 0.10 KW/m en el cantábrico. Sin embargo las proyecciones indican disminución generalizada en todos los escenarios estudiados.

5.2.2.3. Temperatura superficial del agua

El incremento en la temperatura del agua tendrá efectos altamente perniciosos sobre la vida y ecosistemas marinos. A pesar de que el calentamiento de la masa oceánica es más lenta que la de la atmósfera, los efectos que tengan lugar durante el siglo XXI serán importantes.

Las aguas costeras de la Península Ibérica, experimentaron en el intervalo 1985-2005 un calentamiento anual nocturno que va desde los 0.12 a los 0.35°C por década (Gómez et al. 2008). Estos calentamientos difieren entre estaciones, produciéndose mayoritariamente en primavera y verano, con valores de hasta 0.5°C por década.

5.2.2.4. Acidificación de los océanos

Dado que los océanos absorben alrededor del 25% del CO₂ emitido cada año de forma antropogénica, esto modifica la acidez del agua. Entornos con mayor acidez implica menor existencia en el agua de iones carbonato, lo que redundará directamente en un déficit de carbonato cálcico. Esto va en detrimento de la existencia de determinadas especies, como los corales.

Este fenómeno se le denomina acidificación antropogénica, y tiene mayor relevancia en aguas costeras que en el océano abierto.

Este fenómeno tiene consecuencias de tipo biológico y también económico. El segundo de ellos se deriva del primero, ya que las consecuencias sobre la vida marina como pueden ser la dificultad respiratoria de peces, desarrollo larvario de especies redundará directamente en el factor económico. Existen también estudios de las implicaciones que esta acidificación tiene en las infraestructuras de tipo marino: muelles, diques, espigones.

5.2.2.5. Contribución de agua dulce

El incremento de población ha conllevado un cambio muy importante en el uso de los suelos. Esto unido al cambio climático, ha modificado cauces, caudales y como derivada, los aportes de agua dulce sedimentos y nutrientes.

El incremento de la humedad específica debido al incremento de la temperatura motivado por el cambio climático, está intensificando el ciclo hidrológico que causa un aumento de un 50% de la escorrentía superficial.

La influencia de estas descargas repentinas en los sistemas costeros, puede afectar negativamente, ya que algunos de ellos no podrán soportar aguas con bajos niveles de salinidad. Podrán además afectar a la capacidad de los estuarios de retener o filtrar el material procedente de los ríos.

5.2.3. Factores antropogénicos de cambio

Son factores asociados a la mano del hombre. El más importante de ellos es la denominada subsidencia. Además, la presión urbana en determinadas zonas costeras somete a las mismas a una elevada degradación.

5.2.3.1. Hipoxia

Un excesivo aporte de nutrientes en las zonas costeras, genera un crecimiento masivo de algas, seguido de su crecimiento, muerte y descomposición lo que da lugar a un ambiente con déficit de oxígeno. El incremento de la temperatura del agua, intensifica este último fenómeno.

Los nutrientes más habituales suelen ser los derivados del nitrógeno, presente en los fertilizantes químicos y combustibles fósiles.

Esto supone una seria amenaza para la vida marina y ecosistemas marinos. La hipoxia tiene especial relevancia en los estuarios, zonas con baja velocidad de circulación del agua y por tanto baja renovación del oxígeno.

5.2.3.2. Desvío de caudales de agua dulce

La construcción de presas y encauzamientos de los ríos, provocan retenciones de en torno del 15% de las descargas de agua a nivel global. Esto hace que se disminuya el aporte de sedimentos a los sistemas costeros.

5.2.3.3. Desarrollo Socioeconómico

En estado originario, los elementos expuestos eran eminentemente de carácter natural: playas, humedales, marismas, etc..., pero con la posterior actuación del ser humano en las zonas costeras, los elementos expuestos han pasado a ser de carácter artificial: paseos marítimos, puertos, diques, etc...

5.2.3.3.1. Población

A lo largo del siglo XX, una característica fundamental del desarrollo demográfico, tiene que ver con una creciente densificación litoral. Durante los albores del siglo XXI, la población se incrementó en zona costeras a un ritmo de 1.9%, llegando en 2009 a contabilizar una población de unos 15 millones de personas, sobre todo en la zona mediterránea.

Los mayores valores de densidad poblacional (hab/km) también se encuentra en la misma zona costera. Como se puede comprobar en la siguiente figura, los mayores valores se corresponden con Barcelona, Valencia y Gipuzkoa.

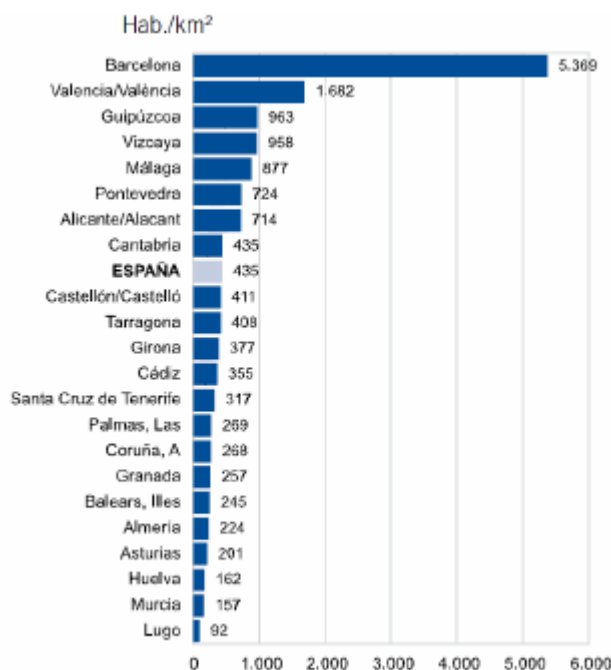


Figura 14: Densidad poblacional en municipios costeros por provincias. Fuente: Fundación BBVA

5.2.3.3.2. Usos del suelo

En las zonas costeras, ha tenido un inmenso auge el sector turístico, lo que ha conllevado a una gran modificación antropológica del territorio litoral, que genera grandes beneficios económicos. En contrapartida se produce una gran degradación del propio medio, con pérdidas de bienes y servicios en los ecosistemas litorales, que provoca que este sistema no sea sostenible a medio plazo (Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2011).

En la franja de los 10 primeros km de costa, el 9.4% de la superficie tiene carácter artificial. El ritmo de crecimiento de esta superficie artificial fue entre los años 2000-2006 de un 11.53%.

Las zonas con mayor crecimiento se encuentran en la cuenca Mediterránea y las Islas Canarias.

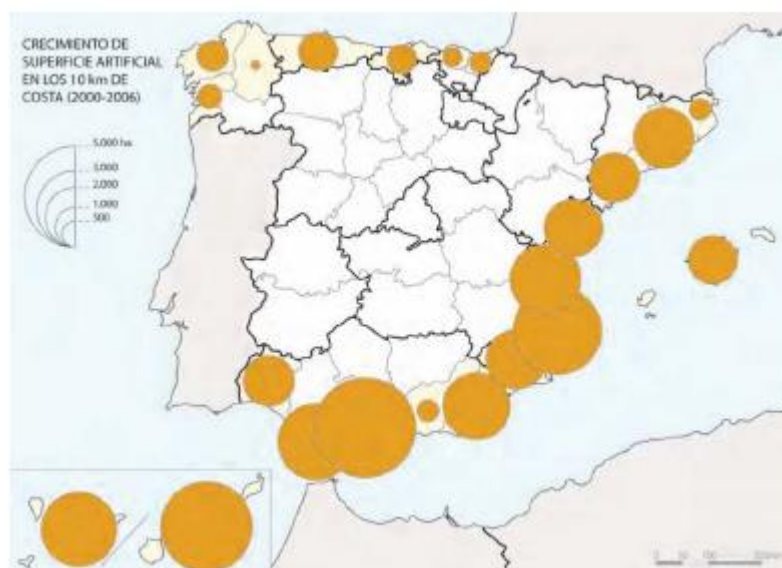


Figura 15: Crecimiento de superficie artificial en la franja costera de 10km entre 2000-2006.
Fuente: Observatorio de la Sostenibilidad de España.

6. ESCENARIOS PARA LA PROYECCIÓN DE IMPACTOS Y RIESGOS.

6.1. Escenarios climáticos

Para determinar los cambios a futuro producidas por las variables climáticas, se trabaja con varios escenarios para llevar a cabo la evaluación del riesgo en cada uno de ellos.

Para ello por regla general se establecen dos horizontes temporales: 2100 y 2040.

En el primero de ellos se establece que en NMMG (Nivel medio del mar global) alcanzará un determinado valor, pero no habrá datos de cómo lo hará en ese intervalo (distribución temporal). Para el segundo (horizonte a 2040) se utilizarán valores extrapolados de los últimos 50 años. En este segundo escenario se podrá conocer además, cómo ha ido ascendiendo el nivel del mar hasta la fecha.

Los valores propuestos son similares a las aproximaciones probabilísticas de autores como Sainz de Murieta et al. 2018

6.1.1. Escenario C1: subida del NMMG de 50cm en 2100

El escenario propone una subida de 50cm para el horizonte temporal. Este valor coincide con los valores medios de subida de nivel del mar en el escenario de emisión medio-bajo de gases de efecto invernadero propuestos por RCP4.5 (WGI, AR5). Se toman valores de proyecciones regionales (Slangen et al. 2014) y se reajustan con valores de la subsidencia inducida y la isostasia glaciar.

6.1.2. Escenario C2: subida del NMMG de 85cm en 2100

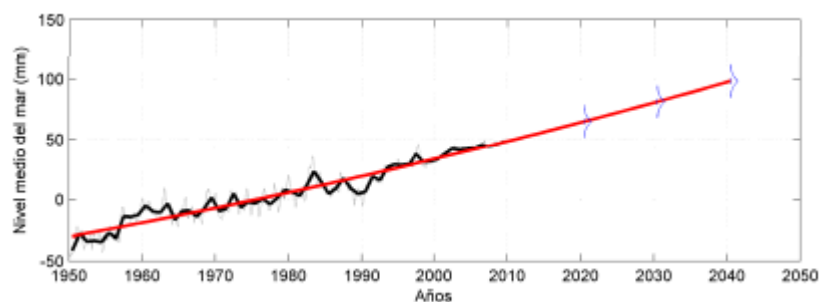
El escenario propone una subida de 85cm para el horizonte temporal. Este valor coincide con los valores medios de subida de nivel del mar en el escenario de emisiones altas gases de efecto invernadero propuestos por RCP8.5 (WGI, AR5). Se toman valores de proyecciones regionales (Slangen et al. 2014) y se reajustan con valores de la subsidencia inducida y la isostasia glaciar.

6.1.3. Escenario C3: subida del NMMG de 2m en 2100

Este es el escenario más pesimista de los propuestos. Responde a la creciente preocupación por el deshielo de la Antártida occidental y Groenlandia que por sí solo puede provocar un incremento del nivel de 1m. Es un escenario de baja probabilidad de suceso, pero con resultados catastróficos en caso de ocurrencia. SE regionaliza de forma análoga a los anteriores escenarios.

6.1.4. Escenario C4: extrapolación histórica de la tendencia a largo plazo de la variable a 2040.

En este caso se utilizan valores pasados para a través de la extrapolación de una tendencia de largo plazo, estimar la cota de inundación. En la siguiente figura se muestra la tendencia en el año 2040, a través de la extrapolación de los valores de los últimos 60 años.



*Figura 16: Extrapolación de los últimos 60 años, y tendencia del aumento del nivel del mar en 2040.
Fuente: IH Cantabria.*

6.2. Escenarios no climáticos: cambios en la vulnerabilidad

La vulnerabilidad trata de medir la afección que pueden sufrir los elementos de costa debido a factores ambientales, sociales, económicos y administrativos como consecuencia del cambio climático.

La vulnerabilidad se mide con dos conceptos: sensibilidad y resiliencia

La sensibilidad hace referencia al grado de afección que puede una amenaza generar sobre un sistema, mientras que la resiliencia describe la capacidad del sistema de soportar la amenaza e incluso rehacerse frente a ella conservando su misma función. En ocasiones la mano del hombre puede actuar como impedimento para que el sistema sea capaz de adaptarse a una nueva realidad después de una amenaza.

Este estudio analiza la vulnerabilidad desde 3 puntos de vista:

- Factor social, analizando la población
- Factor económico, mediante parámetros como PIB o RFBD*
- Factor medioambiental, mediante la valoración de los servicios del ecosistema.

Para ello nuevamente se definen dos escenarios, uno el actual y otro la previsión del año 2040, tomando como datos la extrapolación de las tendencias observadas en los últimos 30 años.

6.2.1. Escenario V0: vulnerabilidad actual

Escenario del momento actual. Para el factor medioambiental se toma como base de partida una valoración caracterizada a través de la base VANE (Valoración de activos naturales en España). Para el factor socioeconómico se toma como base de partida el momento actual y como le afectaría los cambios previstos para el año 2100.

Al evaluar un período de tiempo tan largo se entiende que el resultado será demasiado dependiente de las hipótesis de funcionamiento y por tanto los pronósticos serían inestables.

6.2.2. Escenario V1: Sociedad en 2040

Para definir el escenario socioeconómico, se realiza una revisión de lo ocurrido en los últimos 70 años. A continuación se reestudian varios parámetros y se observan sus tendencias:

- PIB (Producto Interior Bruto)
- Población
- RFBD (Renta Familiar Bruta disponible)
- VAD (Valor Añadido Bruto)
- Stock de capital

Estos valores se comparan con tasas medias de crecimientos por intervalos, desde 1975, desde 1985, desde 1995 y desde 2000. SE tiene en cuenta la tasa de crecimiento mínima y se descartan crecimientos excepcionales o anómalos. Con ello se obtienen unos valores de crecimiento:

- PIB, se estima crecimiento 2.5%
- Población, se estima crecimiento 1%
- RFBD, se estiman valores de crecimiento del 2% (Renta Familiar Bruta disponible)
- Stock de capital, se toman los valores observados de 1990 a 2008.

Los valores obtenidos de las tasas de crecimiento para Gipuzkoa se reflejan en la siguiente tabla:

		Pontevedra	Coruña	Lugo	Asturias	Cantabria	Vizcaya	Guipuzcoa
Población		0	+1.5	0	0	0	0	0
PIB _{pc}		+1.5	0	+1.5	+1.5	+1.25	+1.5	+1.25
VAB	Agricultura	0	0	0	0	0	0	0
	Industrial	+3	+1	+1	+2.5	+3	+2	+3
	Servicios	+3	+3	+2	+3	+3	+3	+3
Stock de capital	Urbano	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+2.5	+1
	Agricultura	+2	+2.5	+2.5	+1.5	+1	+0.5	0
	Industrial	+4	+3	+3	+1	+1.5	+3	+2
	Infraestructuras	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2

Figura 17: Fuente: IH Cantabria.

7. IMPACTOS EN ZONAS COSTEAS

7.1. Impactos observados en costas españolas

Entre los dos impactos más importantes, estarían la inundación y la intrusión salina.

7.1.1. Inundación

La inundación se produce en zonas costeras, cuando el agua supera un determinado nivel y además se generan daños de diferente índole.

No obstante, estos fenómenos que pueden ser puntuales, debido al aumento del nivel del mar, pueden volverse permanentes, con la consiguiente pérdida de terrenos.

Este aumento del nivel del mar, repercute también en los eventos extremos de inundación incrementando su frecuencia.

El fenómeno de inundación se puede describir por la acción de dos agentes principales: el nivel del mar y la acción del oleaje. A su vez el primero de ellos se debe a tres variables:

- Nivel medio del mar
- Marea astronómica
- Marea meteorológico.

Estos tres fenómenos ya se han descrito con anterioridad. En cuanto al nivel del mar, se toma como valor de referencia la cota 0 de Alicante. La marea astronómica tiene un período de oscilación de entre 12 horas y 19 años, y las mareas altas que tienen oscilaciones diarias, equinocciales, interanuales y por décadas, contribuyen a la ocurrencia de niveles de mar extremo.

Si además confluyen en el tiempo una marea alta de tipo equinoccial, con un evento de fuerte oleaje (fenómenos con alta probabilidad de ocurrencia), la marea astronómica nos da buena medida del evento extremo de inundación que se puede alcanzar. La magnitud de estas mareas en el cantábrico alcanza valores superiores a los 4m.



Figura 18: Rango de marea astronómica. Fuente: IH Cantabria.

El oleaje es un factor decisivo en los fenómenos de inundación. Dependiendo del tipo de costa, la cota que ascenderá el agua será diferente. Por ejemplo; para una playa poco tendida la cota alcanzada por el agua será inferior, que si la ola puede subir por un talud más vertical.

Analizando un supuesto en el que se considere que la costa está acantilada o modificada antropológicamente o mediante puertos o paseos marítimos, en Galicia y en el mar cantábrico se obtiene unas cotas de inundación de unos 4.5 m para un período de retorno de 50 años.



Figura 20: Cota de inundación con período de retorno de 50 años
Basado en datos históricos Fuente: IH Cantabria.

7.1.2. Intrusión salina

La intrusión salina es un fenómeno dinámico que se explica como el avance del agua salada del mar tierra adentro. Es un fenómeno muy a tener en cuenta por ejemplo en el delta del Ebro, pero que no tiene demasiada relevancia en los ríos que afectan a la vertiente cantábrica.

7.2. Impactos en la costa cantábrica obtenidos por proyecciones

7.2.1. Inundación y retroceso de la costa

Si se parte del supuesto de que la tendencia registrada en los inicios del siglo XXI se van a mantener en la primera mitad de siglo, se puede observar que los fenómenos de inundación, aparte de por la cota que puedan alcanzar, habrá que caracterizarlos también por la frecuencia con que se alcanzan en el tiempo.

Analizando la ocurrencia de estos eventos para un período de retorno de 50 años (CI_{50}), en el caso concreto de Bilbao se ha determinado que la cota de 3.85m que era el valor que definía el CI_{50} en el año 2010, pasará a alcanzarse una vez cada 15 años en 2040. Sin embargo se constata que el valor de la cota de inundación solo pasaría de un valor de 3.85m en 2010 a 4.00m en el año 2040.

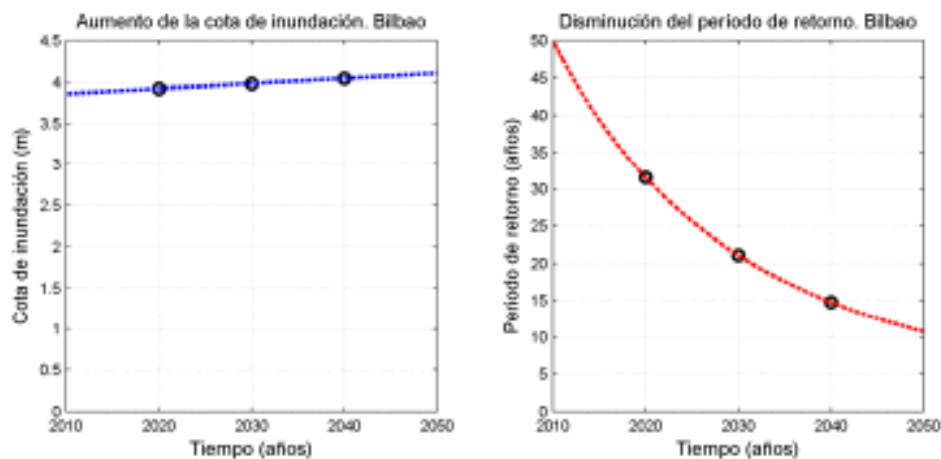


Figura 22: Evolución de la cota de inundación y disminución del período de retorno en la ocurrencia de eventos extremos. Fuente: IH Cantabria.

La subida del nivel y por tanto el fenómeno de inundación, producen graves daños a todos los niveles, tanto desde el punto de vista ecológico, con la pérdida y fragmentación de hábitats con la consiguiente pérdida de biodiversidad, como desde el punto de vista socioeconómico.

El cambio esperado en 2040 en cuanto a la cota de inundación, es menor en aquellas zonas menos “rigidizadas” que en las que sí lo están. Se esperan cambios en torno al 6% en zonas del cantábrico con respecto a los valores del siglo XX.

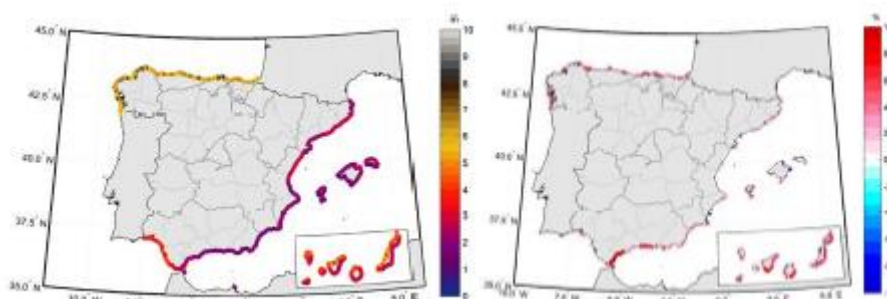


Figura 23: Cota de inundación para C150 en playas disipativas en 2040 y % de cambio en la cota de inundación en 2040 respecto de s. XX. . Fuente: IH Cantabria.

Analizando los tres escenarios (C1, C2, C3) para ver las previsiones a final del s. XXI (año 2100) se obtienen los valores representados en la siguiente figura. Sin duda una de las zonas más castigadas será la cornisa cantábrica, donde la cota de inundación podría llegar a subir hasta 9.0m.

La rigidización de determinadas zonas costeras, mediante la inclusión de infraestructuras que cortan o impiden el movimiento de los sedimentos ha dado lugar a procesos erosivos importantes. La subida del nivel del mar provoca cambios en la línea de costa y por tanto dará lugar a cambios en el clima marítimo y en el transporte de sedimentos. Esto conlleva cambios en el perfil de las playas, y provoca retrocesos en las mismas.

Asumiendo simplificaciones se ha llegado a la conclusión de que en el año 2040, en la zona cantábrica y Galicia se habrá producido un retroceso en las playas de 3.0m.



Figura 24: Retroceso de las playas en metros para el año 2040

Fuente: IH Cantabria.

Los cambios en el transporte de sedimentos pueden dar lugar a erosión que en la costa cantábrica puede llegar a ser del 20% en 2040.



Figura 25: Porcentaje de cambio en transporte de sedimentos (acreción/erosión)

para el año 2040 Fuente: IH Cantabria.

7.2.2. Cambio potencial por intrusión salina

Como ya se ha comentado con anterioridad, este fenómeno no tiene gran relevancia en la costa cantábrica y por tanto en la zona objeto de estudio del presente documento.

7.2.3. Impacto por inundaciones fluviales sobre el medio urbano

En la actualidad no se dispone para la CAPV de una modelización de impactos por inundación fluvial que considere precipitaciones intensas en el futuro y acciones de mejora llevadas a cabo recientemente (ampliaciones de cauces, puentes, colectores de pluviales, etc.). Por ello, y siguiendo un principio de precaución, se ha utilizado la extensión de la zona inundable actual por una avenida de 500 años de periodo de retorno (cartografía de inundabilidad realizada por URA y disponible en el portal público GeoEuskadi) como una primera aproximación de la extensión de la zona de inundabilidad futura con un periodo de retorno de 100 años. Esto ha determinado que 204 municipios de los 251 que forman parte de la CAPV (81 %) estén expuestos de alguna forma a esta amenaza. De manera análoga a lo mencionado en la anterior cadena de impacto, para estos municipios se ha evaluado su vulnerabilidad y riesgo a partir del correspondiente grupo de indicadores de amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa previamente seleccionados.

Respecto a la evolución del riesgo, en general, se ha identificado una tendencia al alza en todos los escenarios contemplados en un futuro. No obstante, y sin olvidar la mayor incertidumbre que existe para las proyecciones de precipitaciones futuras, esta tendencia positiva no se distribuye de igual forma en todos los municipios.

7.2.4. Impacto por inundaciones por subida del nivel del mar sobre el medio urbano

Según las proyecciones, datos y metodología utilizados en este proyecto, se ha identificado que 58 municipios de los 251 que forman parte de la CAPV (23 %) están expuestos de alguna forma a esta amenaza. De manera análoga a lo mencionado en anteriores cadenas de impacto, para estos municipios se ha evaluado su vulnerabilidad y riesgo a partir del correspondiente grupo de indicadores de amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa previamente seleccionados, análogos en gran medida con los indicadores utilizados para elaborar los índices compuestos de la cadena Impacto por inundaciones fluviales sobre el medio urbano.

Respecto a la evolución del riesgo, en general, se ha identificado una tendencia al alza en todos los escenarios contemplados en un futuro. Así, se puede observar que, en el año 2050, en el escenario RCP 4.5, la variación del riesgo con respecto al año de referencia 2016 es entre 0 y 8 %, mientras que en el escenario RCP 8.5 se sitúa entre 0 y 21 %. Esta variabilidad se observa de manera aún más evidente en el año 2100, especialmente en el escenario más desfavorable, con rangos que oscilan entre 0 y 9 % para el escenario RCP 4.5 y entre 0 y 35 % para el escenario RCP 8.5.

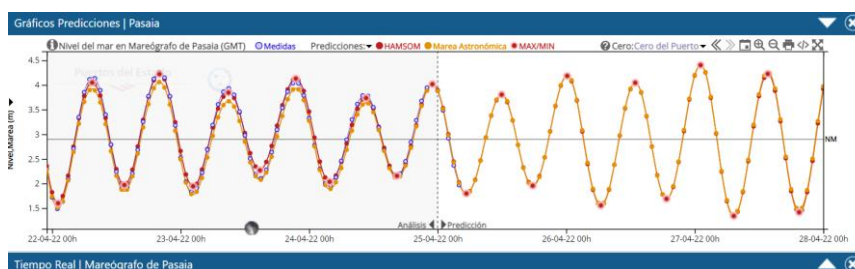


Figura 12. Datos de mareógrafo en Pasaia. Fuente: Puertos del Estado

8. CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA

Los estudios desarrollados para la determinación de las consecuencias de los impactos analizados en los apartados anteriores centran su análisis en dos hitos fundamentales:

- Identificar los ecosistemas en riesgo por la acción del incremento del nivel medio del mar.
- Estimar el riesgo y las pérdidas económicas ante una situación de no adaptación.

8.1. Escenarios

Como ya se ha comentado en los estados previos se han de plantear una serie de escenarios. En este caso se deben cruzar los escenarios tanto climáticos como no climáticos.

Por un lado se trata de evaluar las **consecuencias sobre el estado natural** mediante varios escenarios cruzando los escenarios climáticos ya descritos en puntos anteriores con escenarios no climáticos que recojan la vulnerabilidad actual, puesto que no es posible determinar en este punto la evolución de la vulnerabilidad con la evolución de la afección.

Por otro lado se plantean varios escenarios que permitan evaluar las **consecuencias en el sistema socioeconómico** cruzando los escenarios climáticos con escenarios socioeconómicos basados en la actualidad.

8.2. Análisis del riesgo

Una vez se definen los escenarios se trata de evaluar el análisis de riesgo al que se verá sometida la zona de estudio.

La metodología de análisis del riesgo se basa en la definición de riesgo planteada por la comisión Europea se refiere a la probabilidad de consecuencias negativas o pérdidas esperadas como resultado de una amenaza o peligro sobre una zona expuesta a la misma durante un periodo de tiempo determinado.

El riesgo (R) se representaría como función del producto de la peligrosidad (H), la exposición (E) y la vulnerabilidad (V).

$$R = H \cdot E \cdot V$$

8.3. Indicadores de riesgo

Para el estudio se han de fijar una serie de indicadores económicos del riesgo para poder valorar las consecuencias del cambio originado por la exposición de la zona de estudio a inundación.

Estudios como el c3e realizado por el IH Cantabria mencionan como importantes:

- Riqueza afectada. Se evalúa el capital afectado valorando los activos en riesgo.
- Producción anual. Las áreas afectadas sufrirán una pérdida de producción afectando al PIB.

- Capacidad de recuperación. Este indicador se basará en la capacidad de soporte de los sujetos afectados basada en la Renta Familiar Bruta Disponible (RFBD).

8.4. Incertidumbres y necesidades de la información

Según el estudio realizado por el IH en el C3e se indican las limitaciones del estudio de riesgo realizado debido a tres fuentes de error importantes que se describen a continuación.

8.4.1. Incertidumbre inherente de los escenarios de cambio climático.

En este caso las situaciones son hipotéticas y por tanto suponen una evolución de los fenómenos de incremento de temperatura global por el movimiento de los gases de efecto invernadero que se traduce en una probabilidad de ocurrencia. Además de producirse un incremento en el nivel medio del mar existen fenómenos de cambio de altura de ola extremal, dirección del oleaje y cambios de intensidad, frecuencia y trayectoria de las borrascas que modifican la cota de inundación. La comunidad científica no considera concluyentes estos últimos factores por lo que los estudios realizados se basan eminentemente en el incremento del nivel medio del mar.

8.4.2. Incertidumbre inherente de los escenarios socioeconómicos.

La predicción de la evolución socioeconómica no es tarea sencilla pues la sociedad aprende de los errores y realiza correcciones que no es posible predecir a 50 y menos a 100 años vista. Máxime cuando la experiencia nos ha mostrado que los ecosistemas afectados de un modo no irreversible inician procesos de adaptación que terminan siendo productivos. Si bien es cierto que la acción de la presión antrópica ejerce una merma en la producción se fija la llamada tasa de descuento que según recomendaciones del libro verde (HMT0 Green Book) fijan esa tasa en un 3%.

8.4.3. Limitaciones de las bases de datos disponibles.

Los modelos empleados para los estudios consultados se basan en datos de población, usos de suelo, modelo digital del terreno (MDT), datos económicos, etc... Los parámetros empleados han sido:

- Resolución espacial horizontal del MDT : 5m
- Base de datos de población: 1km²
- Base de datos de usos de suelo (SIOSE): 1Ha.

Estos modelos realizados a una escala grande por cubrir toda la costa española se pueden mejorar mediante la aplicación de sistemas que permitan desarrollar un proyecto localizado para conocer la verdadera situación de una zona de estudio más reducida.

El MDT no puede reproducir con gran exactitud los cambios de la topografía costera siendo más adecuado el empleo de datos de un sensor aerotransportado LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) que puede alcanzar 1m de resolución en horizontal. Según el IH en su estudio c3e se observan diferencias de cota de inundación entre estos dos métodos que implican una relación de áreas de inundación de un orden de magnitud superior prácticamente (de 100Ha a 1.000Ha) lo que supone un gran error en la estimación

8.4.4. Aplicación de modelos de inundación simplificados.

Los modelos de inundación empleados no son modelos hidrodinámicos por lo que no se recoge el comportamiento de la lámina de agua, la rugosidad del fondo, etc. Para la escala del c3e realizado en la costa española supondría un coste computacional muy alto pero puede ser abordable en la zona local de la zona objeto de estudio.

8.5. Consecuencias sobre el sistema natural

Estudios como el c3e realizado por el IH Cantabria exponen una serie de consecuencias en el sistema natural formado por los humedales ante los escenarios de inundación expuestos en apartados anteriores utilizando los datos de vulnerabilidad de la base de datos VANE. Con estos datos se obtiene una estimación de las consecuencias económicas. Estas consecuencias serán variables y dependen como venimos mencionando de la respuesta de los mismos ante los cambios a que se van a ser sometidos por la presión antropogénica.

8.5.1. Pérdida potencial de humedales

Los humedales compuestos por estuarios, marismas, lagunas, marjales, etc..., presentan una gran labor en el ecosistema pues aportan biofiltración, retención de carbono y nutrientes, regulación de fases efecto invernadero, protección física y abrigo a la línea de costa durante temporales y hábitats para numerosas especies de fauna, flora y comunidades microbianas (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014).

El humedal es capaz ante un impacto de migrar tierra adentro. Debido a los nuevos hábitats y colonización de espacios costeros en muchos casos esta migración se hace imposible mermando la superficie y por tanto la función que aportan al ecosistema.

En el caso de estudio los humedales más próximos son los de Oiartzun y Bidasoa con pérdidas por inundación de máximo 180Ha muy inferiores a zonas como el del Nervión que en un escenario C3 (RCP8.5) llega a las 750Ha de pérdida al tener el 94% de su perímetro urbanizado (Referencia.c3e)

8.5.2. Pérdida de servicio de ecosistemas

Las playas y los humedales son los principales ecosistemas costeros que aportan sus servicios como protección costera y uso recreativo para los primeros y fuente de riqueza biológica y recursos marisqueros y pesqueros el segundo.

El presente estudio no presenta zonas de humedal o playas por lo que no es objeto de análisis en este caso concreto.

8.6. Consecuencias sobre el sistema socioeconómico

Se tratará en este apartado de exponer las principales consecuencias en el tejido socioeconómico que afecta a la producción de la zona de estudio por la gran relación con el puerto como actividad económica más importante en la zona de Pasaia.

8.6.1. Pérdida de operatividad y fiabilidad en puertos

Gran parte de las importaciones y exportaciones de mercancías entran por los puertos marítimos de la red de puertos del Estado.

Las obras marítimas del puerto de Pasaia fueron diseñadas para una serie de parámetros de diseño que en muchos casos no recogían las últimas consideraciones realizadas en los últimos años acerca de la influencia del cambio climático en temas como acciones adicionales por aumento de nivel del mar, cambio de condiciones de oleaje, etc... Existe entonces una reducción del nivel de seguridad para el que fueron proyectadas estas obras estimándose en un 2% el aumento del tamaño de los bloques que componen los diques (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014). Además, se irá produciendo una reducción paulatina en muchos casos del nivel de servicio por los cambios producidos durante los años venideros debido a los mismos efectos estudiados. Se producirá según estudios una disminución de las condiciones de navegabilidad en los puertos del Cantábrico con incrementos de altura de ola de un 15-20% de altura de ola mayor de 3m (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014).

8.6.2. Consecuencias sociales

La población que vive en la zona de costa y fruto de los modelos de inundación previstos en la zona de Guipúzcoa sufrirá las consecuencias de pérdida de viviendas en torno al 7% en situación permanente y un 12% en situación extrema para el 2100 en el peor de los escenarios (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014).

8.6.3. Consecuencias económicas

Utilizando los datos de reparto de población u aplicando un reparto del PIB a la población residente en las zonas afectadas se puede estimar que en el peor de los escenarios como es el C3 se vería afectado el PIB en un 0.45% en situación permanente y en un 0.3% para una situación extremal en el año 2100 (Losada, Izaguirre Lasa, & Díaz Simal, 2014). Estos valores se han referido al año 2008 con una tasa de descuento del 3%. Esta tasa de descuento implica que por cada euro actual invertido se pueden ahorrar 20 euros dentro de 100 años

$$(1+0.03)^{100} \approx 20$$

Al haberse reducido el plazo desde los estudios consultados desde ahora al 2100 quedan 78 años por lo que en este momento cada euro invertido ya supone la mitad de si se hubiese actuado en el año 2000.

$$(1+0.03)^{78} \approx 10$$

9. EVALUACIÓN DE COTAS DE INUNDACION

A partir de los datos expuestos en apartados anteriores se trata de obtener los aumentos de nivel del mar que se esperan obtener hasta el año 2100 según se detalla:

ESCENARIO		C1	C2	C3
NMM	Global	+0.50	+0.73	+0.73
	Regional	+0.13	+0.2	+0.2
	Local (Subsidencia)	+0.06	+0.15	+0.30
Deshielo				+1.0
Marea	Meteorológica	-0.2	-0.2	-0.2
Oleaje y Viento	Altura de ola en costa	-0.03	-0.03	-0.03
Total		+0.50	+0.85	+2.00

Tabla 1. Valores máximos de incremento de nivel del mar en escenarios pésimos previstos en 2100

9.1. Mareógrafo de Pasaia

El mareógrafo de pasajes está ubicado en el muelle de Buenavista 1, en las inmediaciones de la unión de los dos cantiles del muelle.

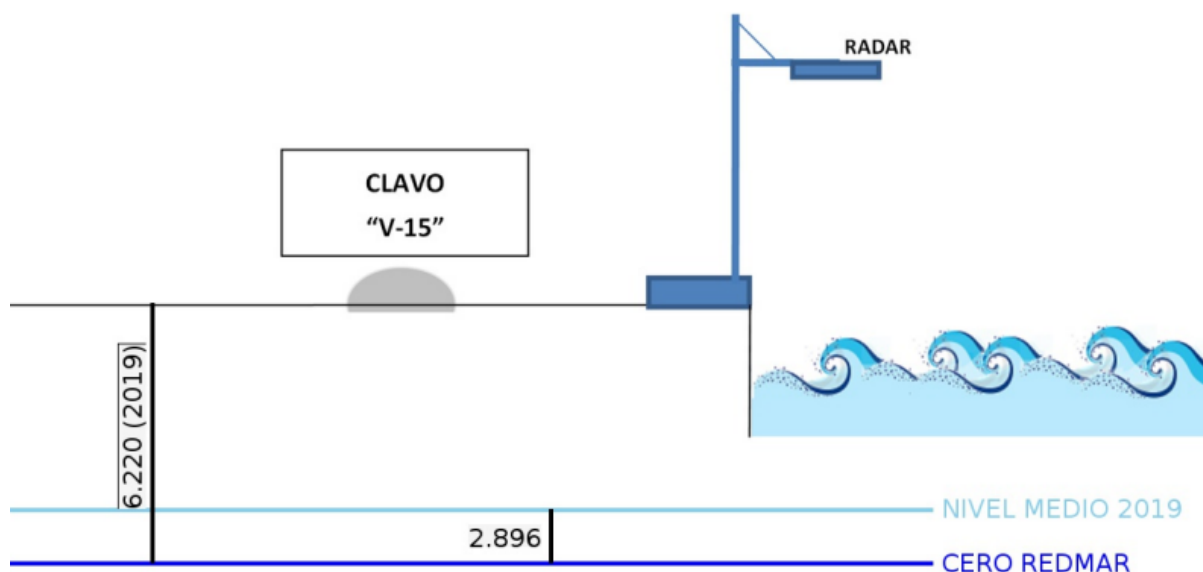
Mareógrafo de Pasaia

Ubicación	Ubicado en el Muelle de Buenavista 1, en las inmediaciones de la unión de los dos cantiles del Muelle.
Longitud	1.92° O
Latitud	43.32° N
Cadencia	1 Min
Código	3115
Inicio de medidas	24-9-2019
Última medida	4-5-2022
Tipo de sensor	Radar
Modelo	Miros
Comentarios	Sensores meteorológicos desde 25-09-2019
Conjunto de datos	REDMAR



Mareógrafo de Pasaia

- **Clavo de referencia:** V15
- **Cota Cero:** 6.22m bajo el clavo de referencia.
- **Ceros:**
 - Cero del Puerto
 - Nivel Medio Local (-2.90m)
- [Definiciones](#)



La cota del clavo V15 de referencia respecto al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) no está aún medida en los esquemas de Puertos del Estado pero según la cartografía de la que disponemos el muelle tiene cota 3.62. Según esto para transformar los datos del mareógrafo a NMMA se debe restar $(6.22-3.62) = 2.6\text{m}$

Los datos históricos del mareógrafo pésimos en los últimos años que pueden obtenerse de las bases de datos de Puertos del Estado.

2020						
Mes	Nivel Medio (cm)	Nivel Máximo (cm)	Día del Máximo	Nivel Mínimo (cm)	Día del Mínimo	Eficiencia (%)
Enero	284.1	487.9	14	80	12	100
Febrero	283	514.5	11	50.3	11	100
Marzo	288.3	517.7	11	34.8	11	100
Abril	289.2	522	9	42.5	8	99
Mayo	287.1	512.5	8	64.3	7	100
Junio	294.7	500.2	6	104.8	5	100
Julio	285.3	476.5	23	96.1	22	100
Agosto	293.8	517.6	20	71.5	21	100
Septiembre	290.9	527.3	19	57.8	18	100
Octubre	299.7	522.9	17	51.4	17	100
Noviembre	292.2	516.5	15	62	16	100
Diciembre	303.9	502.9	15	87.8	15	100

Tabla 2. Datos de mareógrafo de Pasaia año 2020. Cotas REDMAR. Fuente: Puertos del Estado.

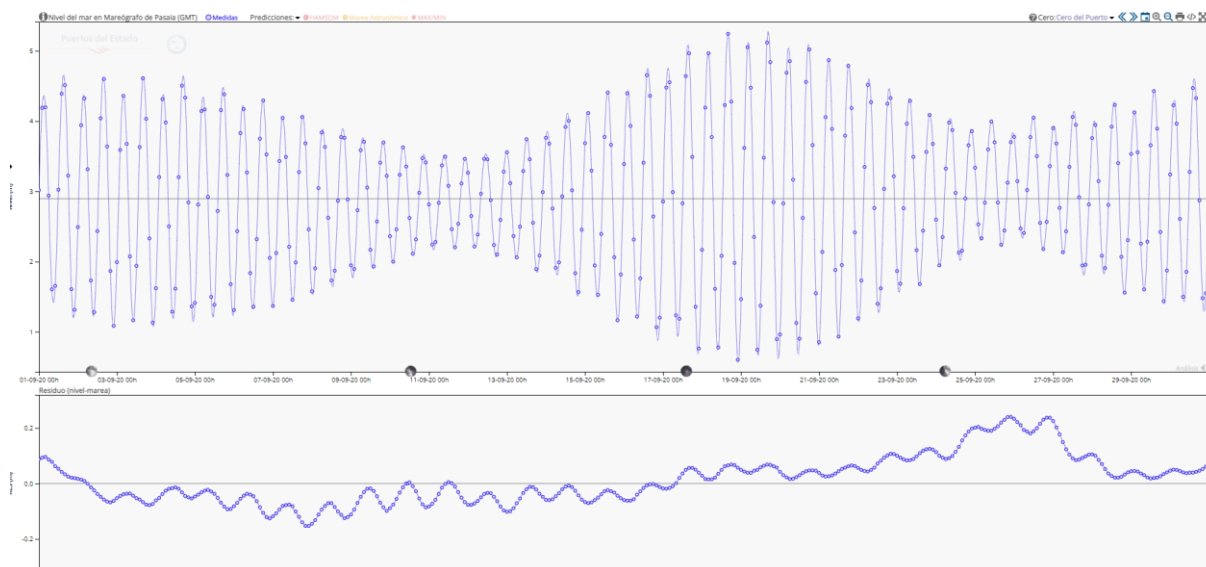


Figura 13. Datos de nivel del mar y residuo nivel-marea en mareógrafo de Pasaia en el mes de Septiembre de 2020. Valor máximo de 5.27m (REDMAR).Fuente: Puertos del Estado.

El nivel REDMAR corresponde con el nivel del Cero del puerto. El cero del puerto se encuentra situado siempre a un nivel tal que con la bajamar pésima no aparezcan valores negativos del nivel del mar. Por este motivo no coinciden con el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) al que se refiere la cartografía del ared del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

9.2. Cotas de inundación por escenario

Contando que la cota máxima observable en puerto según el mareógrafo convertida a Nivel Medio del Mar en Alicante, al que se refiere la nivelación topográfica estatal, e incrementar con estos valores totales esperados de incremento del nivel del mar por escenario, se obtienen las siguientes cotas de inundación (CI) prevista Se suma además en esta cota un resguardo de 1.0m:

ESCENARIO	Mareógrafo (REDMAR)	Mareógrafo (NMMA)	CI-C1	CI-C2	CI-C3
Nivel medio	+3.04	+0.4	+0.9	+1.25	+2.4
Nivel máximo	+5.27	+2.67	+3.17	+3.52	+4.67

Tabla 3. Cotas de inundación previstas por escenario.

El escenario C3 pésimo se obtiene para una cota +5.0 en la que se puede comprobar que se inunda el núcleo de Pasaia, todo el puerto además de gran parte residencial de Pasaia-Donibane. Esta hipótesis es la más improbable pero aun así posible. Se observa que variaciones de hasta la cota +9.0 no producen grandes cambios en las zonas inundadas debido a la orografía de la zona.

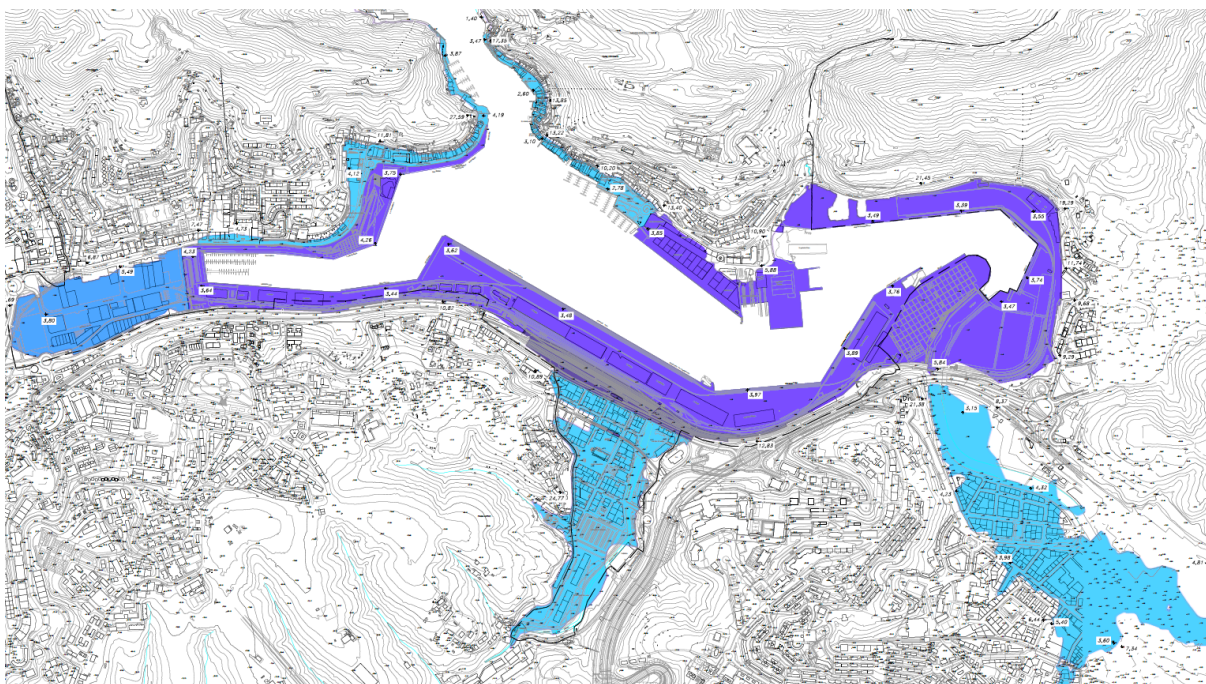


Figura 14. Inundación de zonas cota +5.0

Considerando que la hipótesis C2, de una mayor probabilidad, y aplicando un margen de error adecuado, resulta en una cota máxima en situación de pleamar de +4.0, las consecuencias son las mismas que las descritas para la cota +5.0, pues siguen inundándose las mismas zonas.

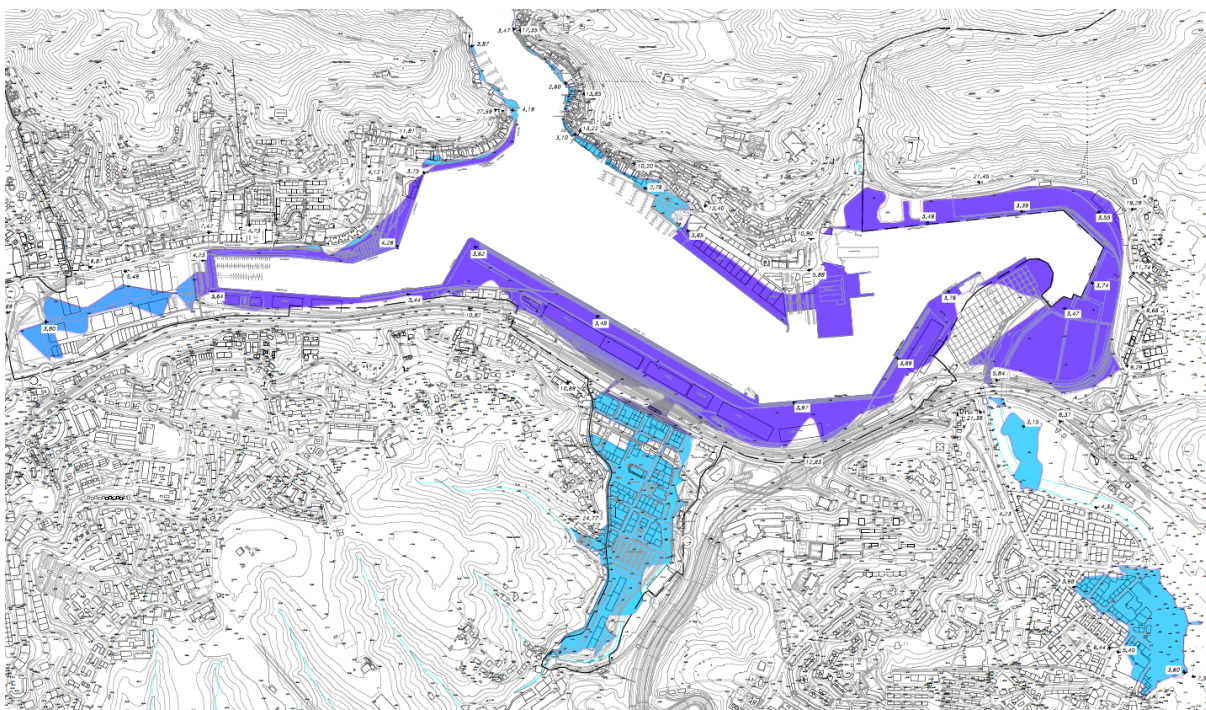


Figura 15. Inundación de zonas con cota +4.0

En el caso del escenario C1 pésimo y de alta probabilidad de ocurrencia se sigue produciendo la inundación por completo el núcleo de Pasaia al tener prácticamente todas sus cotas bajo la +3.0. En

esta situación, el puerto no resultaría afectado por tener cotas mínimas en torno a la +3.4 pero con poco resguardo a tal efecto.

Aunque los niveles medios del mar en general no parecen críticos en los escenarios C1, C2 e incluso C3 para Pasaia, son los niveles máximos en pleamar los que marcan el problema a solucionar.

10. MEDIDAS CORRECTORAS

Todas las medidas correctoras se han basado, según se ha expuesto, en el peor escenario promovido por el aumento del nivel medio del mar según los escenarios descritos en los apartados anteriores. Todas las soluciones se han centrado en evaluar la situación con cota de inundación +5.0.

Existe un problema adicional en la zona de Pasaia referido a la inundación por avenidas, debido a las bajas cotas de diferentes zonas del núcleo del municipio y en el que a día de hoy hay problemas de evacuación en situaciones extremas. Las soluciones siguientes tratan de solucionar así mismo este problema integrándolo en la solución final en la medida de lo posible.

10.1. Protección de núcleo de Pasaia

Como idea inicial se plantea la protección de Pasaia mediante un muro perimetral que, además de frenar la entrada de agua de la zona de puerto, encauce el arroyo de Molinao. El encauzamiento ha de llevarse hasta la cota en la que el terreno presenta altura suficiente para evitar la salida del agua.

En este caso y frente a la contención realizada, sería preciso disponer de un canal perimetral a ese muro que permitiese absorber crecidas extremas no previstas y de un intervalo de tiempo controlado para poder bombear posteriormente esa agua al mar al pasar esa situación temporal.

Esta solución presenta el problema adicional de desagüe de avenidas procedentes de las cuencas que quedaría asegurado por el encauzamiento pero sería preciso realizar un estudio detallado del mismo.

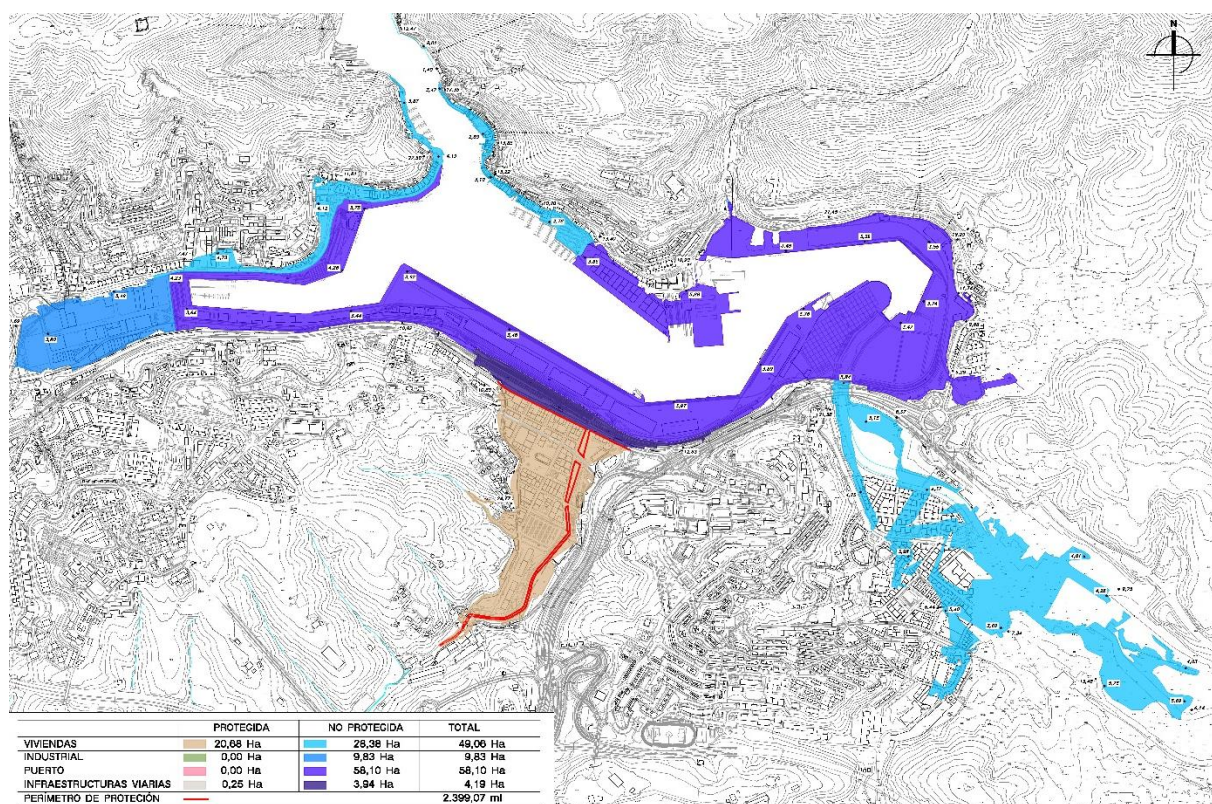


Figura 16. Planta de inundación cota +5.0. Protección de núcleo de Pasaia.

Como puede verse se pierden las siguientes áreas en las que no se ha actuado:

	Área Protegida [Ha]	Área no protegidas (Inundadas) [Ha]	Total [Ha]
Viviendas	20.67	28.38	49.06
Industrial	0.00	9.83	9.83
Puerto	0.00	58.10	58.10
Infraestructuras viarias	0.25	3.94	4.19

Tabla 4. Protección de núcleo de Pasaia. Áreas protegidas e inundadas en Planta de cota de inundación +5.0

La longitud de muros a proyectar sería de 2.400m con una altura media de 1.5m

En esta solución las vías de ADIF y el puerto quedarían inundados para el año 2100 en el escenario pésimo C3.

10.2. Protección de zona interior de puerto y municipios colindantes

La segunda solución pasa por proteger las zonas de puerto y viviendas que se inundan mediante la construcción de diques de protección perimetrales. En este caso sigue siendo preciso encauzar el arroyo de Molinao.

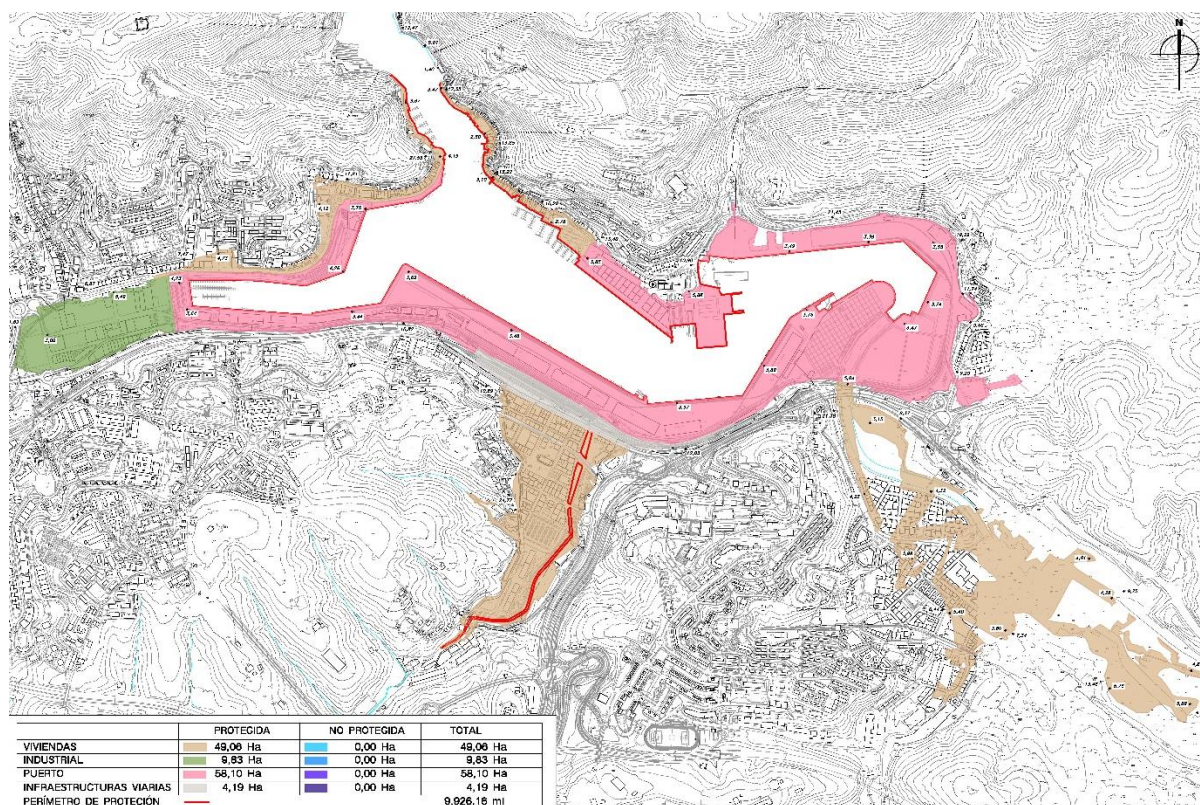


Figura 17. Planta de inundación cota +5.0. Protección perimetral de ensenada.

Esta obra se considera de una gran complejidad y en muchos casos dejaría zonas de difícil ejecución y justificación como colocar muros en frente de viviendas. Se incluye por seguir un proceso lógico.

	Área Protegida [Ha]	Área no protegidas (Inundadas) [Ha]	Total [Ha]
Viviendas	49.06	0.00	49.06
Industrial	9.83	0.00	9.83
Puerto	58.10	0.00	58.10
Infraestructuras viarias	4.19	0.00	4.19

Tabla 5. Protección del Puerto. Áreas protegidas e inundadas en Planta de cota de inundación +5.0

En este caso la obra de protección de muros y diques es de casi 10km suponiendo un sobrecoste de gran envergadura.

10.3. Esclusa de retención en boca de entrada a puerto

Debido a las condiciones orográficas del puerto de Pasajes se ha buscado una solución más práctica que evite la penetración del incremento del nivel del mar esperado.

En este caso el puerto está formado por una ensenada a la que se penetra por un paso entre montañas que hacen de dique natural. A modo de presa es posible construir un dique que frene la entrada de ese incremento de nivel del mar con grandes ventajas en el interior del puerto.

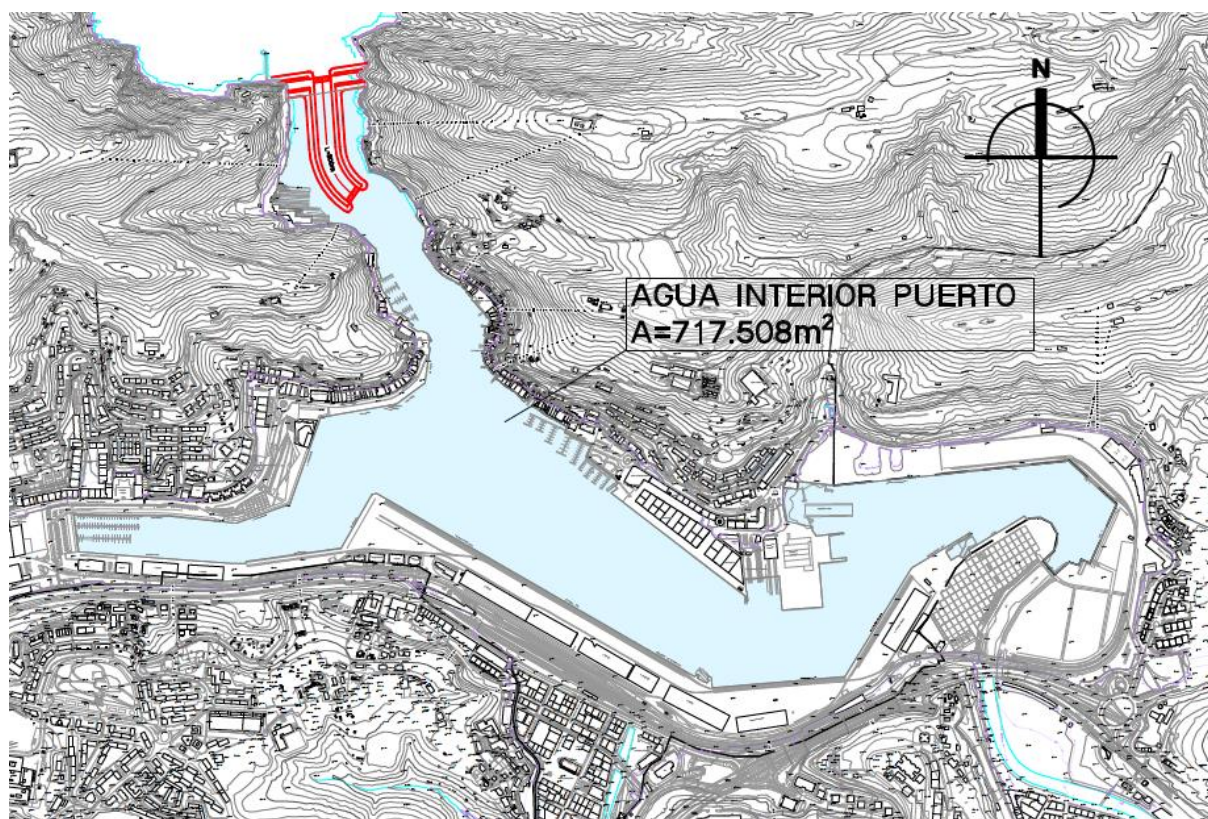


Figura 18. Planta general de emplazamiento de esclusa en entrada de puerto.

Se ha representado esquemáticamente la canal de entrada aunque no se tienen datos para representarla en la elaboración de este informe. Le objetivo es que no sea necesaria ninguna obra

marítima adicional respetando la operación actual del puerto. Seguramente la canal sea más recta pero será un punto a tratar en el proyecto de detalle en caso de llevarse a cabo.

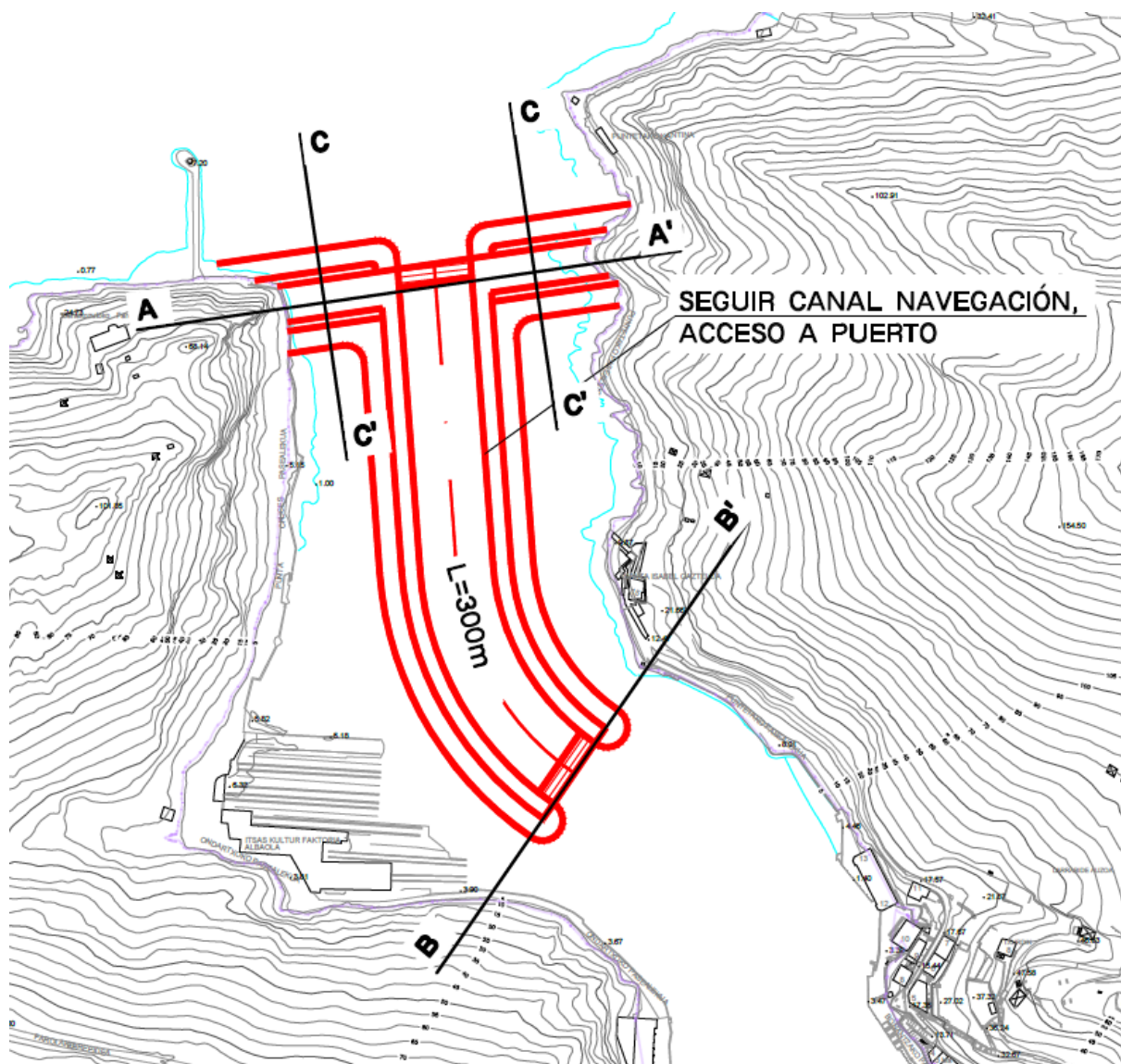


Figura 19. Detalle de Planta de esclusa con trazado de canal de navegación estimado a determinar en proyecto.

Existen unas instalaciones en la zona oeste del final de la esclusa que parecen abandonadas en las primeras informaciones y que pueden ser condicionantes para adaptar el diseño de la esclusa en caso de recuperar su actividad. Como se ha dicho la labor de diseño de la esclusa no es objeto de este informe sino plantear soluciones al problema del cambio de nivel del mar.

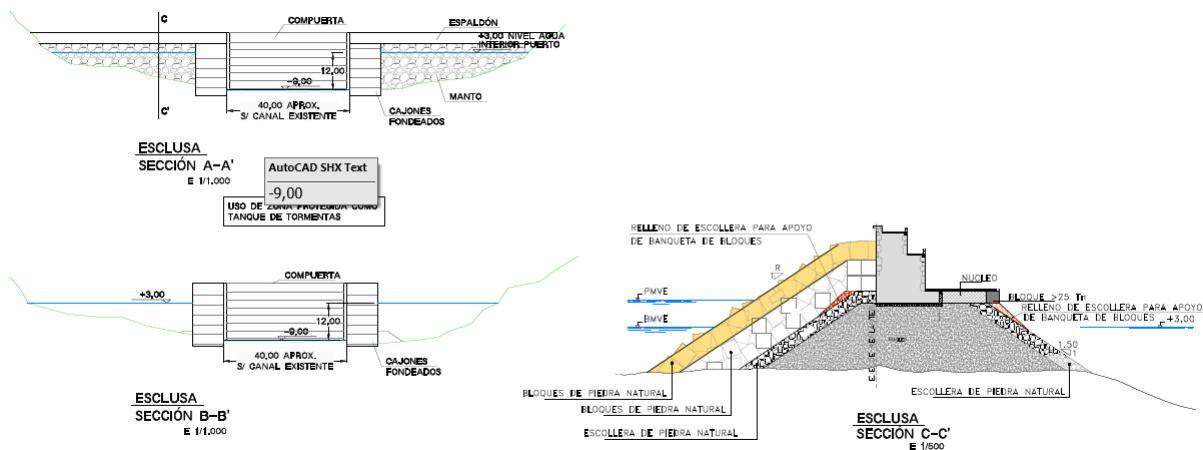


Figura 20. Detalle de secciones de esclusa y dique de protección.

Para el paso de los barcos y mantener el nivel del agua interior sería preciso disponer de una esclusa que seguiría el trazado de la canal de entrada. Esta esclusa se ha predimensionado con 40.0m de anchura, calado de 12.0m y una longitud de 300m como estándar en este diseño aunque según datos del puerto de Pasajes los máximos barcos a entrar previstos serían de 180m de eslora.

Otra de las ventajas es que el nivel interior del puerto se mantendría en una cota que se estime adecuada para el servicio al mismo y de valor constante al eliminarse las componentes de marea meteorológica.

Esta solución presenta una ventaja adicional que supone utilizar el gran área de la zona interior de la ensenada del puerto de unas 72Ha que permite usar la misma de tanque de tormentas para absorber las avenidas y mejorar la capacidad de desagüe del río Oiartzun y el arroyo Molinao. Un ligero incremento de cota supone una gran cantidad de m³ de agua (1cm de subida de nivel suponen 7.200m³ de agua). Posteriormente esa agua puede bombearse al mar.

La presencia de la esclusa puede ser limitante en función del tráfico marítimo. En el caso de Pasaia se observa que puede ser una opción adecuada al volumen de tráfico previsto.

11. CONCLUSIONES

Después del análisis realizado se puede concluir que las consecuencias del cambio climático en el núcleo de Pasaia supondrán en el mejor de los escenarios previstos, la inundación de su núcleo urbano en la situación pésima de pleamar para estimaciones del año 2100.

Para llegar a esta conclusión se han estudiado los efectos de tres escenarios propuestos por la comisión de cambio climático (IPCC) en sus diferentes informes ajustadas en el informe C3E realizado para Ministerio de Medio Ambiente para toda la costa Española-

Se ha detectado asimismo, que el puerto se ve inundado en las situaciones esperadas sobre todo en el escenario C2 de mayor probabilidad, así como localidades como gran parte de Pasaia-Donibane.

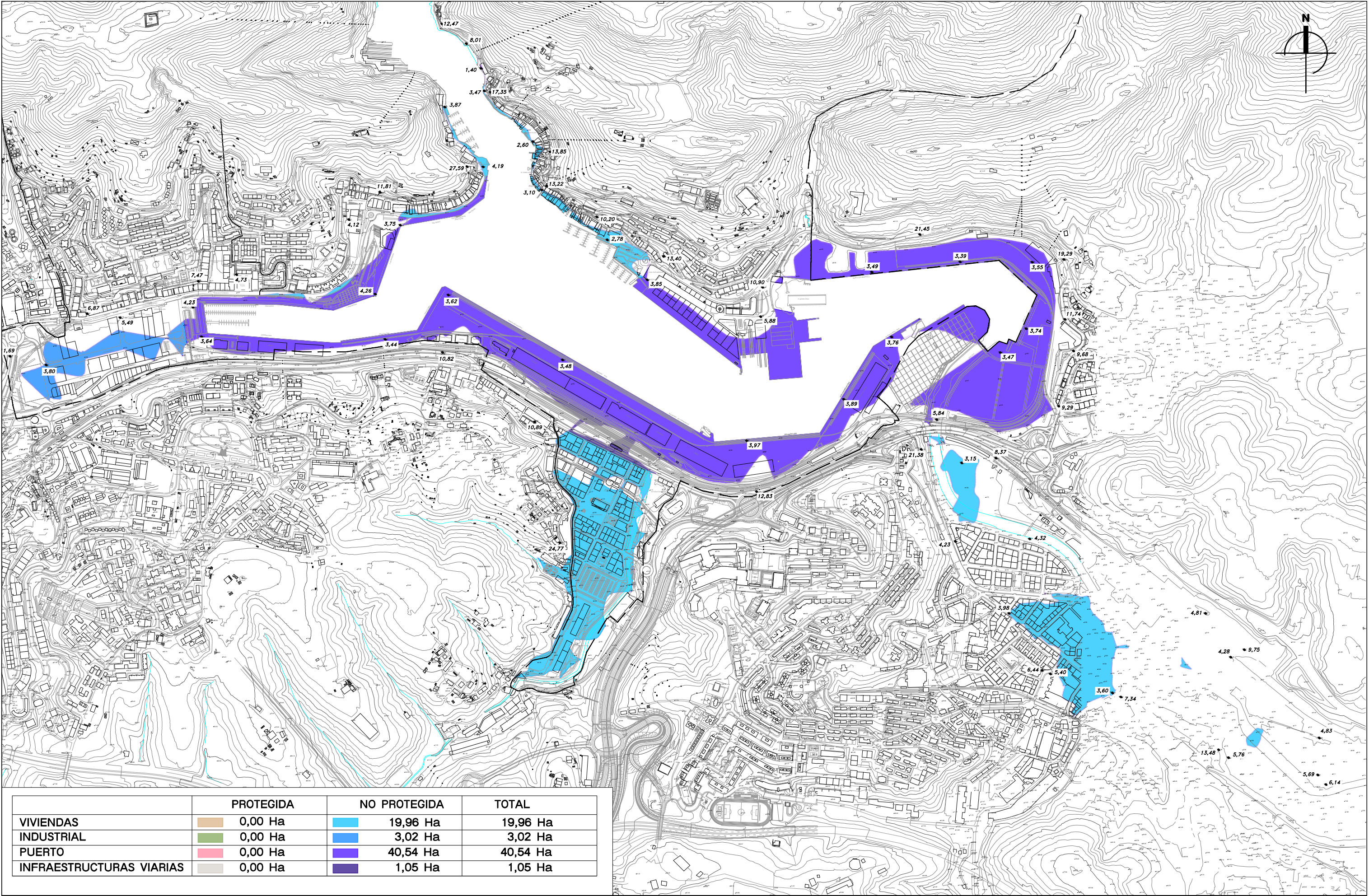
Se han propuesto diferentes soluciones en las que se ha tratado de solucionar además el problema de inundaciones por avenidas del núcleo de Pasaia. La opción de esclusa de protección construida en la bocana del puerto es la que mayores ventajas presenta por reducir la obra a una zona localizada. Los tráficos esperados del puerto son adecuados para la instalación de una esclusa.

Además esta solución de esclusa permite estabilizar el nivel del agua dentro del puerto y de ese modo poder utilizar la ensenada del mismo como tanque de tormentas que solucionarían el problema de inundación de los ríos Oiartzun y arroyo Molinao.

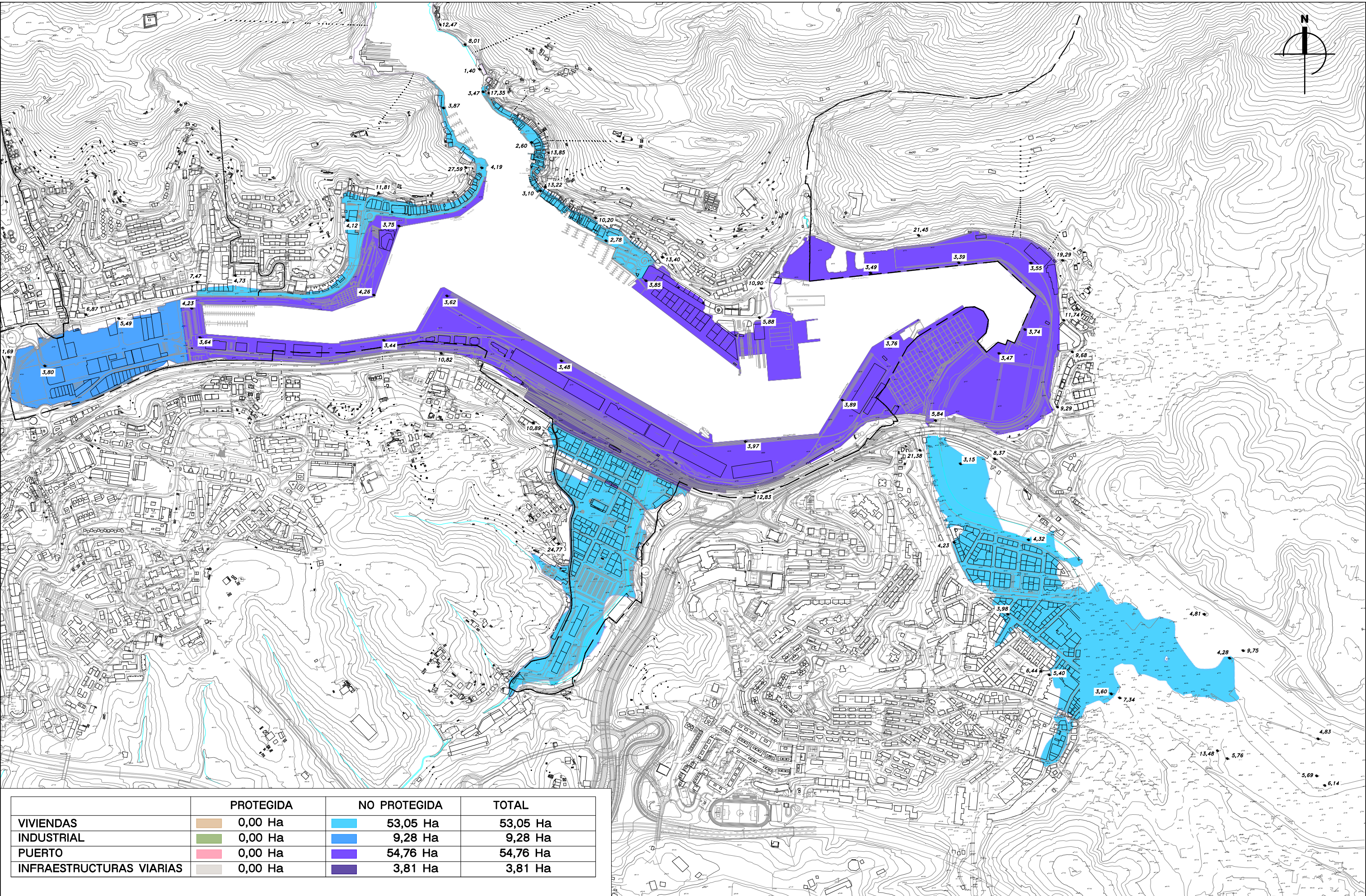
BIBLIOGRAFÍA

- A.B.A, S., C. M., Katsman, C., van de Wal, R., Köhl, A., L.L.A, V., & Stammer, D. (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*.
- Biodiversidad, I.-F. (2018). *Elaboración de MAPas de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los EStuarios cantábricos (MARES)*.
- Change), I. (. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M.Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. M. Cambridge University Press.
- Church, J. A., & White, N. J. (2011). Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 585-602.
- Comission, E., Centre, J., Ehrich, D., & Schneiderbauer, S. (2014). *Schneiderbauer*.
- Gómez Gesteira, M., de Castro, M., Alvarez, I., & Gómez-Gesteira, J. (2008). Coastal sea surface temperature warming trend along the continental part of the Atlantic Arc (1985 - 2005). *Journal of Geophysical Research*, 113.
- Klimatek, P. (2018). Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco.
- Losada, I. J., Izaguirre Lasa, C., & Díaz Simal, P. (2014). *Informe C3E Impactos costa española*.
- Losada, I. J., Méndez, F. J., Olabarrieta, M., Liste, M., Menéndez, M., Tomás, A., . . . Guanche, R. (2004). *Impactos en la costa española por efecto del cambio climático. Fase III: Estrategias frente al cambio climático en la costa*.
- Marcos, M., Gomis, D., Monserrat, S., Álvarez-Fanjul, E., Pérez, B., & García-Lafuente, J. (2005). Consistency of long sea-level time series in the Northern coast of Spain. *Journal of Geophysical Research*.
- Sainz de Murieta, E., Abadie, L., & Galarraga, I. (2018). *Aumento del nivel del mar en la costa vasca : una aproximación probabilística*.
- Slangen, A., KatsmanC.A., van de Wal, R., Vermeersen, L., & Riva, R. (2012). Towards regional projections of twenty-first century sea-level change based on IPCC SRES scenarios. *Climate Dynamics*, 1191-1209.
- Steffen, W. (2009). *Climate Change 2009: Faster change and more serious risks*. Canberra.: Department of Climate Change.
- Team, P. A. (2015). *Plan de Emergencia Municipal De Gupia De Isora*.
- Vermeer, S., & Rahmstorf, M. (2009). Global Sea Level Linked to Global Temperature. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A*.

ANEXO 1: PLANOS



	PROTEGIDA	NO PROTEGIDA	TOTAL
VIVIENDAS	0,00 Ha	19,96 Ha	19,96 Ha
INDUSTRIAL	0,00 Ha	3,02 Ha	3,02 Ha
PUERTO	0,00 Ha	40,54 Ha	40,54 Ha
INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	0,00 Ha	1,05 Ha	1,05 Ha



	PROTEGIDA	NO PROTEGIDA	TOTAL
VIVIENDAS	0,00 Ha	53,05 Ha	53,05 Ha
INDUSTRIAL	0,00 Ha	9,28 Ha	9,28 Ha
PUERTO	0,00 Ha	54,76 Ha	54,76 Ha
INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	0,00 Ha	3,81 Ha	3,81 Ha

JABETZA
PROPIEDAD



INGENIARI EGILEA
EL INGENIERO AUTOR



MIGUEL GARCIA ROJO
INGENIERO DE CAMINOS, C. Y P.- COLEGIADO Nº21180

JOKIN IDARRETA CARDONA
INGENIERO CIVIL - COLEGIADO Nº20608

PROIEKTUAREN IZENBURUA
TITULO DEL PROYECTO

INFORME DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
DERIVADA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA
PASAIAKO KLIMA-ALDAKETAK ERAGINDAKO
KALTEBERATASUNA EBALUATZEKO TXOSTENA

AZTERKETA
REVISION

01-IRATXE-MIGUEL
28-04-2022

GAKOA
CLAVE

I-21-14

ESKALAK
ESCALAS

A1: 1/5.000
A3: 1/10.000

PLANOAREN-IZENBURUA
TITULO DEL PLANO

ESTADO PROYECTADO 2100
COTA +5,00 (ESCENARIO C3)

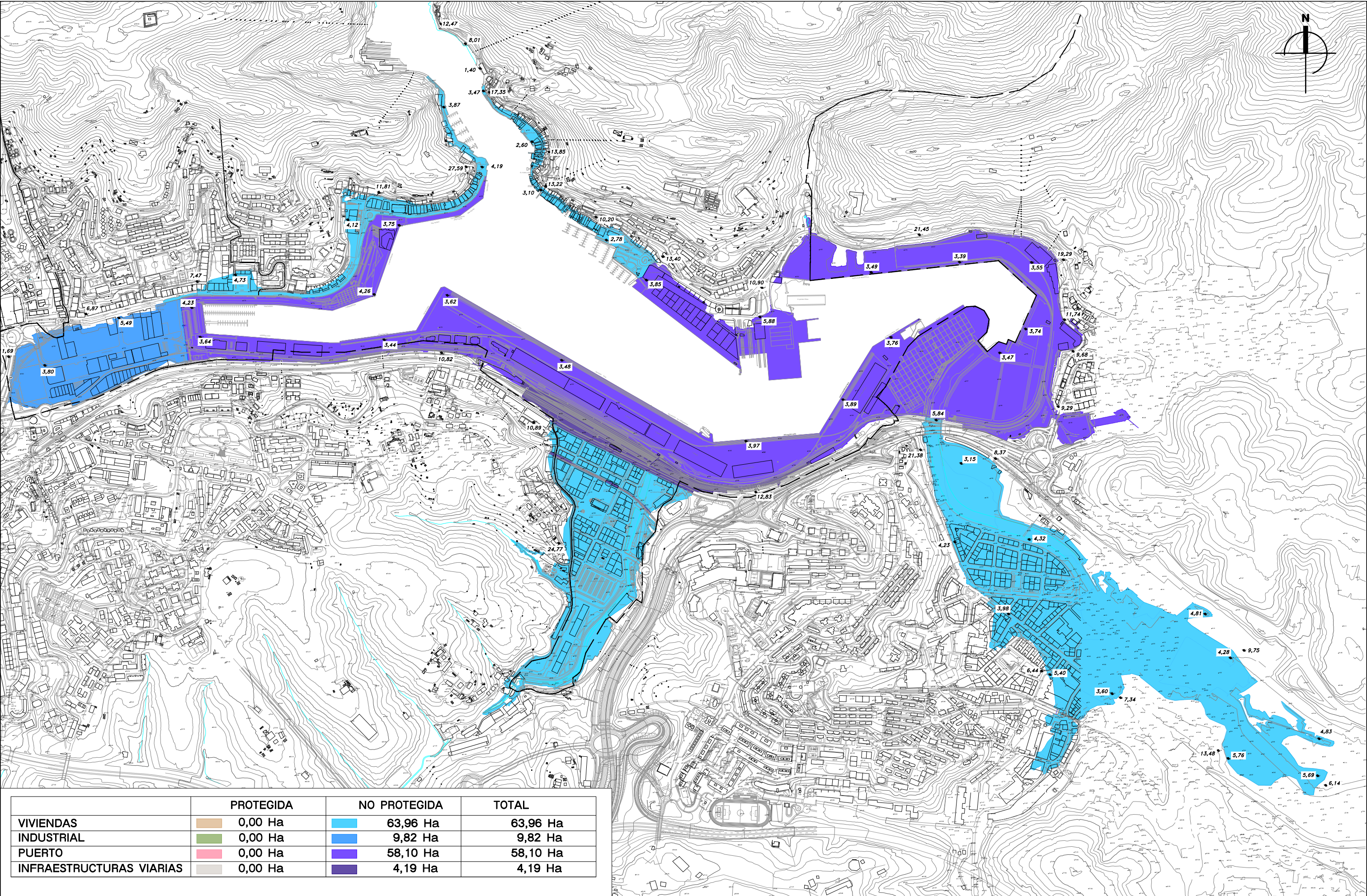
PLANO-ZNB:
Nº PLANO

5

HOJA 1 DE 1

DATA
FECHA

ABRIL 2022



	PROTEGIDA	NO PROTEGIDA	TOTAL
VIVIENDAS	0,00 Ha	63,96 Ha	63,96 Ha
INDUSTRIAL	0,00 Ha	9,82 Ha	9,82 Ha
PUERTO	0,00 Ha	58,10 Ha	58,10 Ha
INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	0,00 Ha	4,19 Ha	4,19 Ha

JABETZA
PROPIEDAD



INGENIARI EGILEA
EL INGENIERO AUTOR



MIGUEL GARCIA ROJO
INGENIERO DE CAMINOS, C. Y P.- COLEGIADO Nº21180

JOKIN IDARRETA CARDONA
INGENIERO CIVIL - COLEGIADO Nº26068

PROIEKTUAREN IZENBURUA
TITULO DEL PROYECTO

INFORME DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
DERIVADA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN PASAIA
PASAIAKO KLIMA-ALDAKETAK ERAGINDAKO
KALTEBERATASUNA EBALUATZEKO TXOSTENA

AZTERKETA
REVISION

01-IRATXE-MIGUEL
28-04-2022

GAIKOA
CLAVE

I-21-14

ESKALAK
ESCALAS

A1: 1/5.000
A3: 1/10.000

PLANOAREN-IZENBURUA
TITULO DEL PLANO

ESTADO PROYECTADO 2100
COTA +6,00

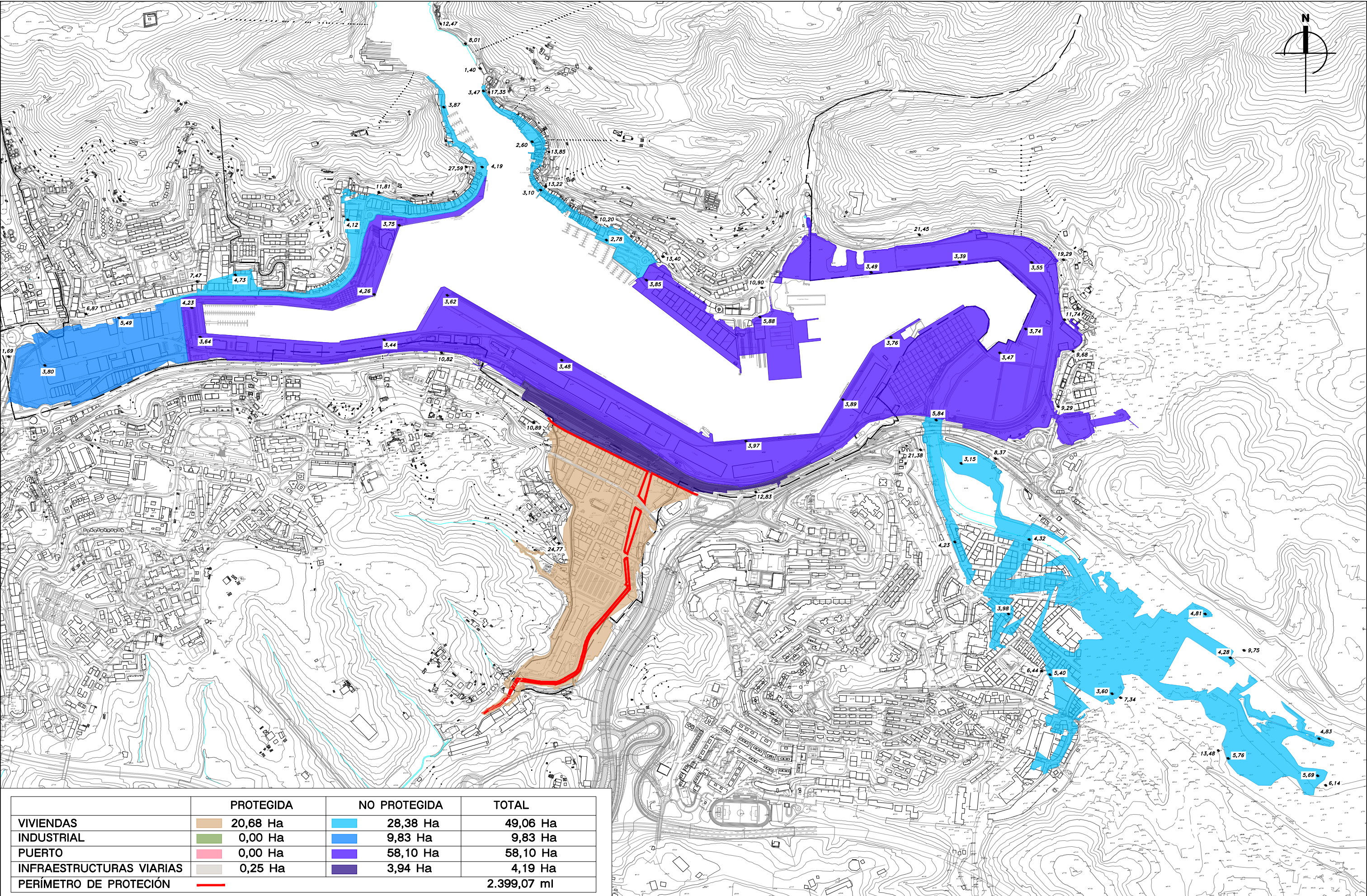
PLANO-ZNB:
Nº PLANO

6

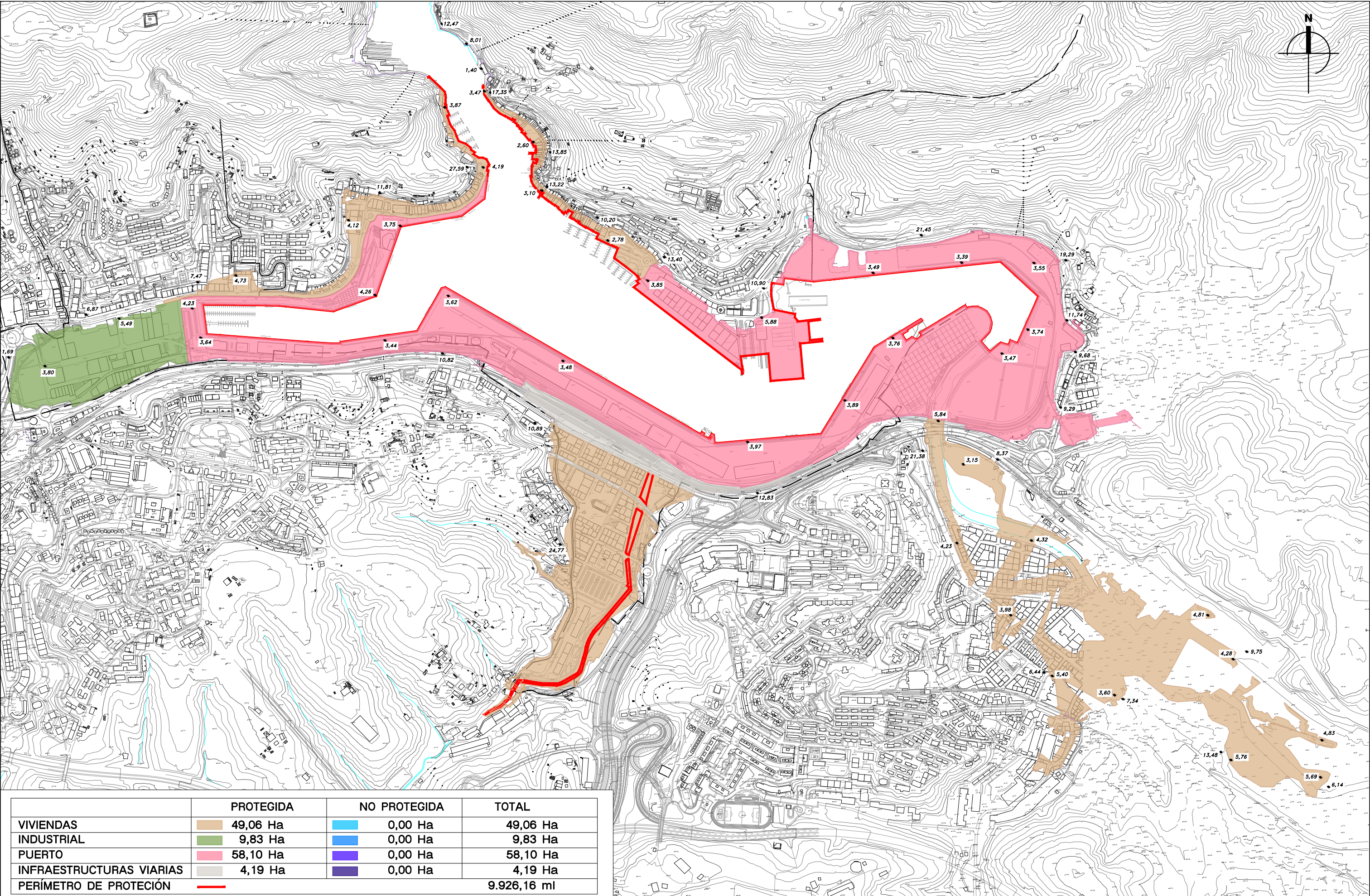
HOJA 1 DE 1

DATA
FECHA

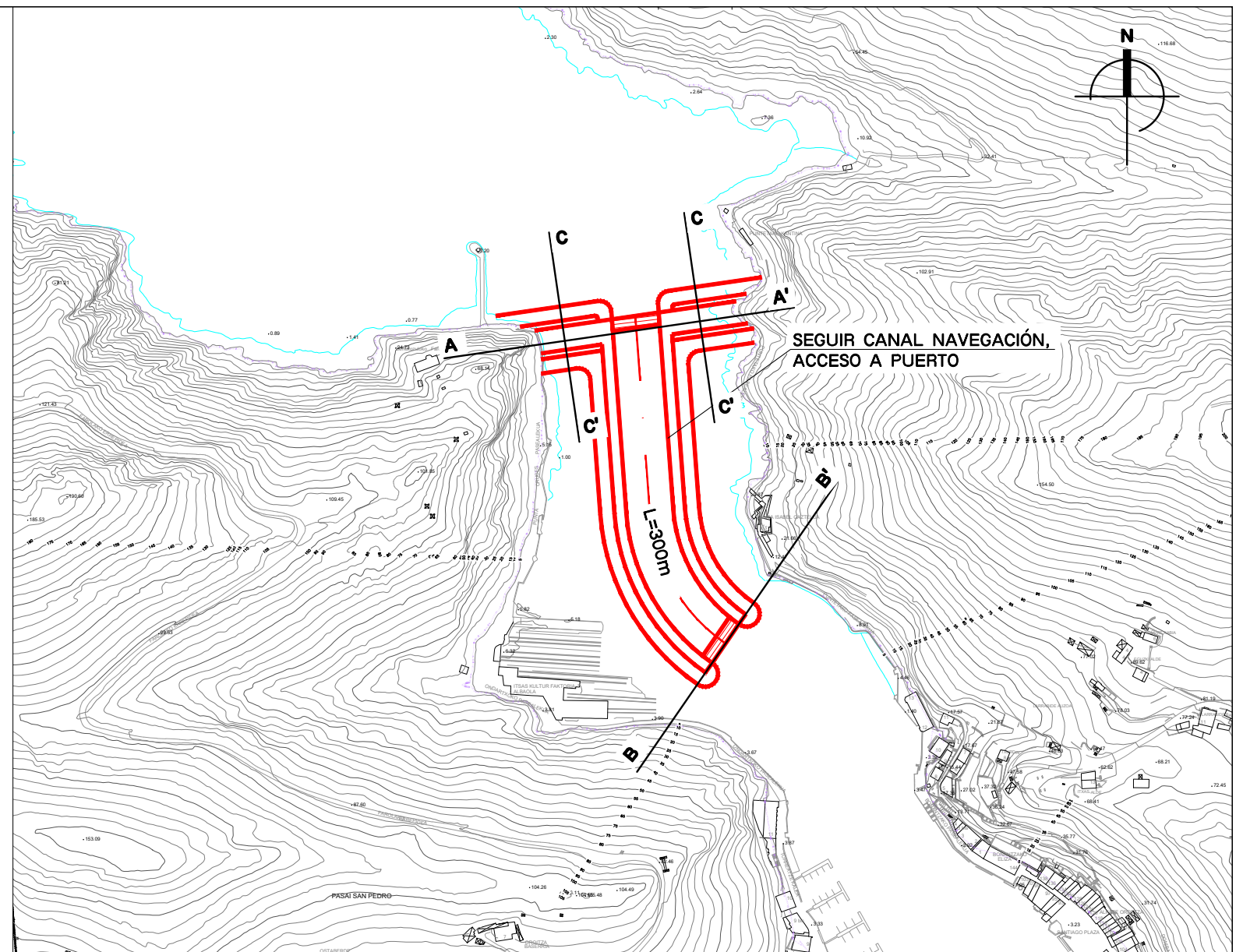
ABRIL 2022



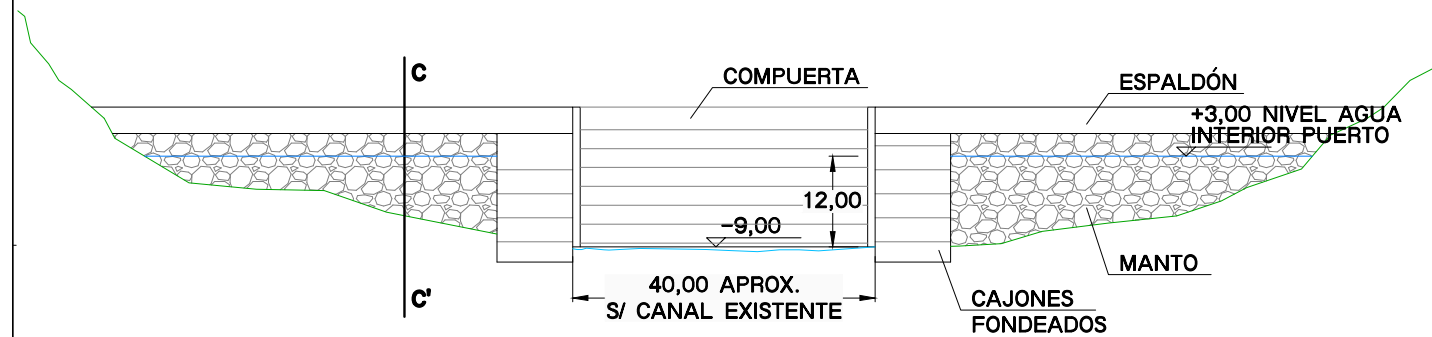
	PROTEGIDA	NO PROTEGIDA	TOTAL
VIVIENDAS	20,68 Ha	28,38 Ha	49,06 Ha
INDUSTRIAL	0,00 Ha	9,83 Ha	9,83 Ha
PUERTO	0,00 Ha	58,10 Ha	58,10 Ha
INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	0,25 Ha	3,94 Ha	4,19 Ha
PERÍMETRO DE PROTECCIÓN	2.399,07 ml		



	PROTEGIDA	NO PROTEGIDA	TOTAL
VIVIENDAS	49,06 Ha	0,00 Ha	49,06 Ha
INDUSTRIAL	9,83 Ha	0,00 Ha	9,83 Ha
PUERTO	58,10 Ha	0,00 Ha	58,10 Ha
INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	4,19 Ha	0,00 Ha	4,19 Ha
PERÍMETRO DE PROTECCIÓN			9.926,16 ml

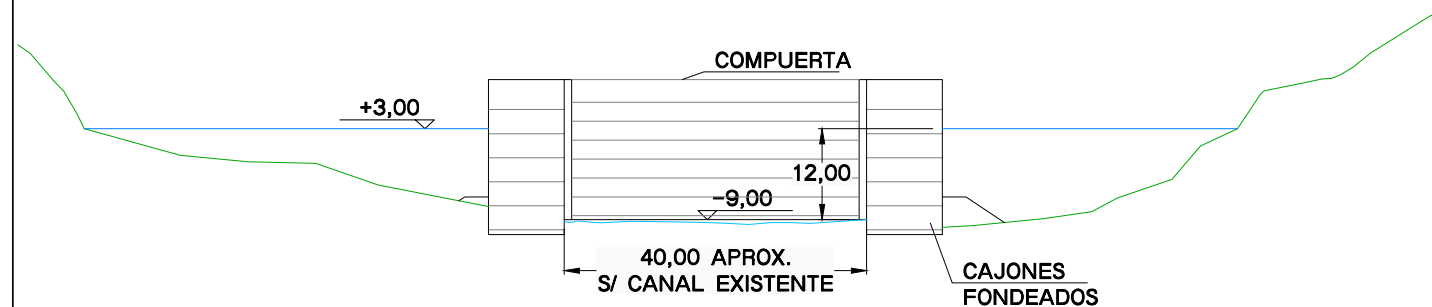


PLANTA
1/5.000

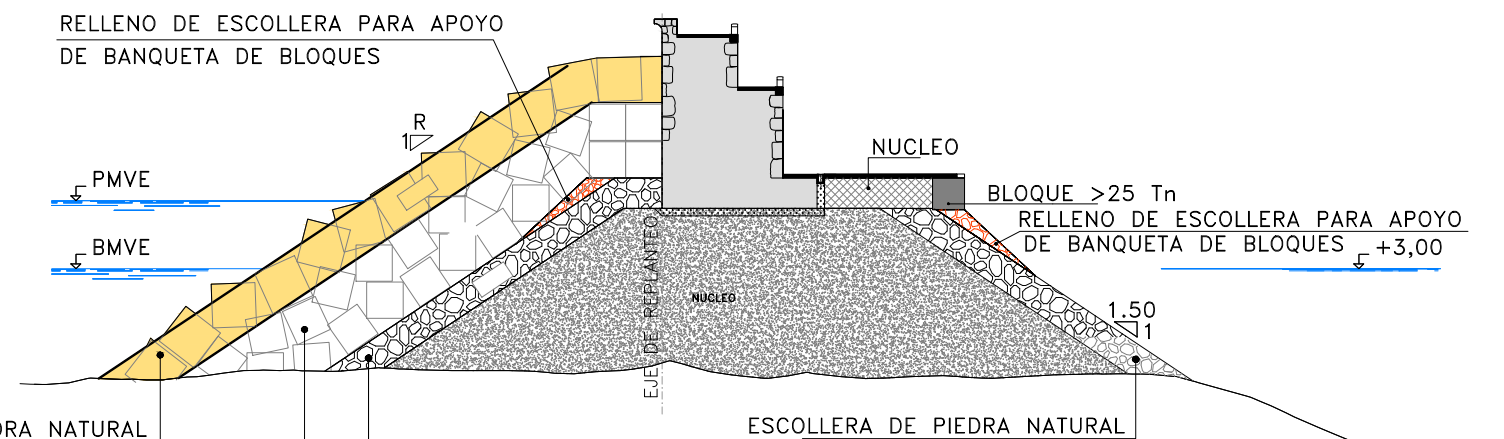


ESCLUSA
SECCIÓN A-A'
E 1/1.000

USO DE ZONA PROTEGIDA COMO TANQUE DE TORMENTAS



ESCLUSA
SECCIÓN B-B'
E 1/1.000



ESCLUSA
SECCIÓN C-C'
E 1/500