

**LIFE
ADAPT
CALA
MILLOR**



Informe técnico

D4.1 Evaluation of adaptation measures

WP4 Assessment of potential adaptation measures in Cala Millor:

T4.1 Determination of objectives and priority guidelines

T4.2 Evaluation of adaptation measures

W W W . L I F E A D A P T C A L A M I L L O R



Cofinanciado por
la Unión Europea

Coordinación:

Verónica Cánovas, Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (FIHAC).
Miriam García, LANDLAB, Laboratorio de Paisajes S.L.P.
Mauricio González, Universidad de Cantabria (UC-IHC).
Raúl Medina, Universidad de Cantabria (UC-IHC).

Equipo de trabajo en orden alfabético:

Inés Battle, Asociación Hotelera Bahía de Cala Millor - Sa Coma, Consorcio de Turismo de Son Servera y Sant Llorenç de Cardassar.
Àngels Fernández-Mora, ICTS Sistema de Observación y Predicción de las Illes Balears.
Joana Garau, Dirección General de Economía Circular, Transición Energética y Cambio Climático.
Daniel García, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (UIB-CSIC).
Alejandra Gómez, Fundación CONAMA.
Lluís Gómez-Pujol, Universitat de les Illes Balears.
Nuria Marbà, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (UIB-CSIC).
Jordi Miró, LANDLAB, Laboratorio de Paisajes S.L.P.
Alejandro Orfila, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (UIB-CSIC).
Bartolomeu Pascual, Universitat de les Illes Balears.
Eduardo Perero, Fundación CONAMA.
Jaume Rosselló, Universitat de les Illes Balears.
Elena Sánchez, ICTS Sistema de Observación y Predicción de las Illes Balears.
Joaquín Tintoré, ICTS Sistema de Observación y Predicción de las Illes Balears.
Jinámar Tomás, Dirección General de Economía Circular, Transición Energética y Cambio Climático.
Alicia Torrego, Fundación CONAMA.

Licencia:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

A efectos bibliográficos debe citarse:

Cánovas, V., García, M., Marieges, P., Acosta, N., González, M., Medina, R., 2025. Informe técnico D4.1 Evaluation of adaptation measures. Proyecto LIFE AdaptCalaMillor. Palma, España.

LIFE PROJECT

“Participatory and multi-level governance process to design a transformational climate change adaptation project at Cala Millor beach from an integrated and multidisciplinary science-based approach”

DELIVERABLE NUMBER 4.1: Evaluation of adaptation measures

PROJECT ACRONYM	LIFE AdaptCalaMillor
GRANT AGREEMENT NUMBER	LIFE21/GIC/ES/101074227
CALL AND TOPIC	LIFE-2021-SAP-CLIMA-GOV
FUNDING BODY	CINEA
PROJECT DATES	1 st of January 2021 – 30 th of April 2027
COORDINATOR BENEFICIARY	Directorate General of Energy and Climate Change (DGECC)
WEBSITE	https://www.caib.es/sites/adaptcalamillor/es/ortada_dg/

DELIVERABLE NUMBER	D4.1
DELIVERABLE TITLE	Evaluation of adaptation measures
WORK PACKAGE AND TASK NUMBER	WP4; Task 4.1 and Task 4.2
LEAD PARTICIPANT PARTNER	FIHAC
DISSEMINATION LEVEL	public
DELIVERY DUE DATE	30/06/2025
LAST MODIFIED DATE	13/07/2025
AUTHORS (alphabetical order)	Mauricio González, Miriam García, Noemí Acosta, Pere Marieges, Raúl Medina, Verónica Cánovas

This project has received funding from the European Union's LIFE programme under grant agreement N° LIFE21/GIC/ES/101074227



Disclaimer:

The information and views set out in this report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union institutions and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information contained therein.

Project partners:



Cofinanciado por
la Unión Europea

Índice

Resumen ejecutivo	1
Antecedentes.....	1
1. Introducción	3
1.1. Objetivos	5
1.2. Organización del estudio	5
2. Cala Millor en el contexto actual.....	6
2.1. Descripción de la zona de estudio	6
2.1.1. Batimetría y sedimentos.....	6
2.1.2. Hábitats	11
2.1.3. Ámbitos de regulación.....	17
2.2. Caracterización de la dinámica marina	19
2.2.1. Clima marítimo en aguas intermedias.....	19
2.2.1.1. Oleaje.....	19
2.2.1.2. Nivel del mar	23
2.2.2. Clima marítimo en la zona de estudio.....	25
2.3. Evolución histórica y dinámica litoral	36
2.3.1. Sistema de corrientes	36
2.3.2. Evolución histórica de la línea de costa	43
2.4. Modelo de funcionamiento.....	54
3. Cala Millor en el contexto del cambio climático	62
2.2. Escenarios de cambio climático.....	62
2.3. Efectos e impactos del cambio climático	66
2.3.1. Dimensión física.....	66
2.3.1.1. Hipótesis de partida	66
2.3.1.2. Modelo de funcionamiento	67
2.3.1.3. Inundación permanente y anchura de playa seca	75
2.3.1.4. Inundación extrema.....	79
2.3.2. Dimensión ambiental.....	82
2.3.3. Dimensión socioeconómica	85
2.3.4. Dimensión urbana	87
4. Pasos previos a la definición de las medidas adaptación: diagnóstico y objetivos	88
4.1. Diagnóstico integrado	89

4.2.	Definición de objetivos estratégicos y específicos	92
4.2.1.	Liberación del Dominio Público Marítimo-Terrestre	94
4.2.2.	Mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo	95
4.2.3.	Mejora de la biodiversidad y resiliencia	96
4.2.4.	Restablecimiento del balance sedimentario.....	97
4.2.5.	Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.....	97
4.2.6.	Fortalecimiento de la capacidad de entender	98
4.2.7.	Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos	99
4.2.8.	Mejora de la gestión integral del ciclo del agua	100
5.	Propuesta y evaluación de medidas de adaptación	101
5.1.	Introducción: tipos de medidas y estrategias.....	101
5.2.	Propuestas de medidas	106
5.3.	Evaluación de medidas.....	110
5.3.1.	Condicionantes	110
5.3.1.1.	Relacionados con los resultados del riesgo.....	110
5.3.1.2.	Relacionados con el modelo de funcionamiento y la estabilidad de la playa 112	
5.3.1.3.	Relacionados con los sistemas dunares.....	118
5.3.1.4.	Relacionados con las figuras de protección.....	120
5.3.1.5.	Relacionados con los ámbitos competenciales	122
5.4.	Catálogo de medidas y estrategias.....	123
6.	Conclusiones y lecciones aprendidas.....	125
	Referencias.....	128
	Anexo I. Objetivos estratégicos y específicos	131
	Anexo II. Catálogo de medidas.....	139

Resumen ejecutivo

El presente documento sintetiza los resultados obtenidos en las tareas **T4.1 Determination of objectives and priority guidelines** y **T4.2 Evaluation of adaptation measures** del paquete de trabajo **WP4. Assessment of potential adaptation measures in Cala Millor**, del proyecto “Participatory and multi-level governance process to design a transformational climate change adaptation project at Cala Millor beach from an integrated and multidisciplinary science-based approach” (LIFE AdaptCalaMillor).

Este documento da continuidad a los trabajos realizados en el paquete de trabajo **WP3. Global change impacts and risks assessments at Cala Millor** y, en él, se proponen medidas de adaptación con base en los resultados de la evaluación de los impactos y riesgos de Cala Millor frente al cambio climático del citado WP3.

Para ello, se analiza, en primer lugar, cuál es el contexto actual de Cala Millor, mediante la descripción de la zona, sus contornos, hábitats y elementos clave en el ámbito de estudio. También se caracterizan el clima marítimo, su evolución histórica y dinámica litoral con el fin de conocer su modelo de funcionamiento. Estos análisis han reflejado que, tanto la línea de costa como la distribución del sedimento, presentan una gran variabilidad debido a las características del oleaje y la presencia de barras y que la playa no se encuentra en equilibrio estático.

En segundo lugar, se resumen los resultados de evaluación de los efectos e impactos del cambio climático obtenidos en el WP3 y se analizan los posibles efectos en el modelo de funcionamiento. Se identifican las zonas críticas frente a erosión e inundación, los impactos en los hábitats y los socioeconómicos, mostrando que es preciso adoptar medidas de adaptación si no se quieren perder los servicios ecosistémicos.

Los dos análisis anteriores, junto con el análisis de gobernanza del **WP2. Governance framework: Stakeholders & Citizens’engagement at Cala Millor**, han permitido elaborar un diagnóstico integrado de la situación actual y futura del ámbito de estudio.

Este diagnóstico integrado ha permitido identificar cuáles son las temáticas clave y las cuestiones críticas a las que se debe dar respuesta, las cuales permiten definir los objetivos de adaptación.

Estos objetivos definen qué se quiere lograr con las medidas y estrategias que se propongan y éstas dos últimas indican cómo se quiere lograr.

En total se han definido 8 objetivos estratégicos de adaptación, y 67 objetivos específicos para Cala Millor, todos ellos en línea con los establecidos a nivel regional, nacional e internacional, con el fin de lograr su máxima aceptación.

Considerando esos objetivos y los resultados de evaluación del riesgo, se ha elaborado un catálogo preliminar de medidas.

Este primer catálogo dispone de un amplio y diverso abanico de medidas agrupadas en función de su naturaleza (natural, basada en la naturaleza, estructurales y no estructurales) y dimensión (física, ambiental, socioeconómica y urbana). Posteriormente, se ha debatido este catálogo entre los socios en varias reuniones y con el grupo de trabajo (7 de marzo y 12 de junio de 2025), dando lugar a un nuevo conjunto de medidas. A continuación, se han analizado las medidas propuestas en función de unos condicionantes técnicos, ambientales, jurídicos, etc., con el fin de definir unas estrategias integradas para Cala Millor, las cuales son objeto de estudio en el siguiente informe del proyecto (*D4.2 Integrated adaptation strategies for Cala Millor*).

En línea con los objetivos del proyecto, tanto la metodología como los objetivos y medidas de adaptación propuestas para Cala Millor son replicables en otros entornos costeros urbanos.

Antecedentes

El presente estudio se realiza en el marco del proyecto titulado proyecto “*Participatory and multi-level governance process to design a transformational climate change adaptation project at Cala Millor beach from an integrated and multidisciplinary science-based approach*” (en adelante denominado mediante su acrónimo LIFE AdaptCalaMillor).

Este proyecto europeo (periodo 2023-2027) pretende servir de referente en la definición soluciones de adaptación para playas urbanas, integrando en el proceso los conocimientos científicos, los hábitats, las actividades socio-económicas, los usos y servicios urbanos y la gobernanza, para aumentar la resiliencia de las playas urbanas.

Para ello se ha seleccionado Cala Millor como caso de ejemplo y se ha formado un grupo de trabajo multisectorial que permite la búsqueda de estrategias de adaptación que integran las cuatro dimensiones (física, medioambiental, socioeconómica y urbana). Además, en este proyecto se ha adoptado un enfoque de gobernanza multinivel y participativo con todas las partes interesadas, las cuales han estado involucradas desde el principio para ser conscientes de la magnitud de los impactos y riesgos del cambio climático en playas urbanas. El objetivo de este enfoque es facilitar el proceso de toma de decisiones y la implementación de las soluciones en el ámbito de estudio.

Este proyecto ha sido promovido por el Govern de les Illes Balears a través de la Dirección General de Economía Circular, Transición Energética y Cambio Climático (DGECTECC), en colaboración con el Consorcio para el Diseño, Construcción, Equipamiento y Explotación del Sistema de Observación Costero de las Illes Balears (SOCIB); Universitat de les Illes Balears (UIB); Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (CSIC-IMEDEA), LANDLAB, laboratorio de paisajes SLP; Fundación Instituto Hidráulica Ambiental de Cantabria (FIHAC), Universidad de Cantabria (UC); Consorci de Turisme de Son Servera I Sant Llorenç D'es Cardassar, Asociación Hotelera de Cala Millor y sa Coma y Fundación Conama.

La ejecución del proyecto se ha estructurado en 7 paquetes de trabajo (WP) que permiten:

- **WP1. Project management and coordination:** diseñado para la gestion, coordinación y seguimiento del proyecto.
- **WP2. Governance framework: Stakeholders & Citizens'engagement at Cala Millor:** focalizado en aprender de un proceso activo para involucrar a la sociedad y a las partes interesadas en un marco de gobernanza efectiva a través de un esquema participativo de toma de decisiones para seleccionar medidas de adaptación al cambio climático en Cala Millor basadas en la naturaleza y en la ciencia.
- **WP3. Global change impacts and risks assessments at Cala Millor:** enfocado en desarrollo de una metodología para la evaluación de los impactos y riesgos asociados al cambio climático en playas urbanas y su aplicación a Cala Millor.

- **WP4. Assessment of potential adaptation measures in Cala Millor:** centrado en la propuesta y evaluación de posibles medidas y estrategias integradas para la adaptación de Cala Millor al cambio climático considerando los condicionantes físicos, ambientales, socioeconómico y urbanos de la zona.
- **WP5. Participatory and Integrated Adaptation Climate Change project for Cala Millor:** dirigido a la búsqueda de consensos mediante la participación activa de las partes interesadas y la sociedad en la selección y el diseño de la estrategia y los proyectos de adaptación.
- **WP6. Sustainability, replication and exploitation of project results:** orientado a la replicabilidad y extrapolación de los resultados del proyecto a otros ámbitos costeros urbanos.
- **WP7. Communication & Dissemination:** implicado en encaminado a lograr una difusión y divulgación eficaces de los principales resultados y productos como fuerza motriz para la capitalización del proyecto.

El presente documento constituye el duodécimo informe previsto en el marco del proyecto, titulado **D.4.1. Evaluation of adaptation measures**, en el que se resumen los principales resultados de dos tareas:

- **T4.1 Determination of objectives and priority guidelines:** donde se definen los objetivos estratégicos y específicos para la adaptación del Cala Millor al cambio climático.
- **T4.2 Evaluation of adaptation measures:** en la que se proponen y evalúan posibles medidas de adaptación para Cala Millor considerando las dimensiones física, ambiental, socioeconómica y urbana.

1. Introducción

Los efectos e impactos del cambio climático en la costa son una de las principales preocupaciones de los gestores de la costa, dado que en las últimas décadas se han observado importantes pérdidas de arena y un incremento de la frecuencia y extensión de las inundaciones del frente litoral.

Además, conforme a los últimos informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (conocido por el acrónimo en inglés IPCC), se espera que esa situación se agrave en las próximas décadas, debido a que el nivel medio del mar global está subiendo y acelerándose respecto al siglo pasado.

Este aumento del nivel medio del mar (ANMM) conlleva una serie de riesgos para las zonas costeras, especialmente las playas, que son uno de los ecosistemas más vulnerables al aumento del nivel del mar debido a la erosión del litoral y a las inundaciones costeras.

En general, las playas pueden adaptarse al cambio climático de forma natural retrocediendo, siempre que dispongan de suficiente espacio y sedimentos. Sin embargo, las playas urbanas tienen mermada esa capacidad debido a la presión urbanística y su antropización, que impiden que dispongan de espacio para su acomodación al cambio climático.

Un claro ejemplo es el caso de Cala Millor (Islas Baleares, España), que, debido a ocupación masiva del frente litoral ante la demanda turística que comenzó en los años 60-70, se ha rigidizado reduciendo considerablemente su resiliencia a la erosión y haciéndola especialmente vulnerable al cambio climático.



Figura 1. Panorámica de Cala Millor. Fuente imagen: <https://franciscogarvi.com/>

Esta situación es una de las principales preocupaciones de las administraciones públicas encargadas de la gestión de la costa y de la asociación hotelera, dado que el sector turístico es el motor principal de la economía del lugar.

Durante años se han llevado a cabo movilizaciones y aportaciones de arena para cubrir el sustrato rocoso y disponer de una playa seca suficiente para uso recreacional en verano. Sin embargo, tal y como han sido concebidas, estas actuaciones tienen poca durabilidad, por lo que no son sostenibles en el largo plazo ni eficientes para afrontar los efectos del cambio climático. (son medidas de corto plazo). Además, este tipo de medidas pueden llegar a afectar a la Posidonia oceánica de la zona si no se gestionan adecuadamente.



Figura 2. Afloramiento del sustrato rocoso en la playa de Cala Millor.

Este contexto ha motivado el proyecto LIFE AdaptCalaMillor, cuyo objetivo principal es buscar posibles soluciones sistémicas e integradas para la adaptación al cambio climático de Cala Millor, mediante un enfoque participativo multidisciplinar y multisectorial y fomentar su replicabilidad en otros entornos costeros similares.

En el presente documento se resumen los primeros pasos para alcanzar esas soluciones, realizando un diagnóstico del ámbito de estudio en la situación actual y futura, definiendo los objetivos estratégicos y específicos de adaptación y proponiendo posibles medidas de adaptación considerando las dimensiones física, medioambiental, socioeconómica y urbana, atendiendo al mismo tiempo a las necesidades y demandas sociales de los ciudadanos y las partes interesadas.

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es proponer y evaluar posibles medidas de adaptación para Cala Millor con un enfoque multidimensional y participativo.

Para alcanzar tal fin se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la situación actual y futura de Cala Millor con base en los resultados de erosión e inundación en el 3^{er} paquete de trabajo del proyecto (WP3).
- Definir los objetivos estratégicos y específicos para la adaptación de Cala Millor al cambio climático.
- Proponer y evaluar posibles medidas de adaptación considerando las principales dimensiones que afectan al entorno (física, ambiental, socioeconómica y urbana).
- Involucrar a las partes interesadas en la definición y validación de esas medidas mediante reuniones y talleres diseñados para tal fin.

1.2. Organización del estudio

Este documento se ha estructurado de la siguiente forma:

- **Capítulo 1. Introducción:** donde se describen la motivación y los objetivos del estudio.
 - **Capítulo 2. Cala Millor en el contexto actual:** en el cual se describen someramente la zona de estudio, las dinámicas marina y litoral, el modelo de funcionamiento de la playa.
 - **Capítulo 3. Cala Millor en el contexto del cambio climático:** donde se resumen los resultados de los impactos de los efectos del cambio climático en la playa de Cala Millor obtenidos en el WP3.
 - **Capítulo 4. Pasos previos a la definición de las medidas adaptación: diagnóstico y objetivos:** en el que se define en el procedimiento seguido para la definición de las posibles medidas de adaptación con base en un diagnóstico integrado y la definición de los objetivos estratégicos y específicos de adaptación.
 - **Capítulo 5. Propuesta y evaluación de medidas de adaptación:** donde se proponen posibles medidas de adaptación desde el punto de vista físico, ambiental, socioeconómico y urbano.
 - **Capítulo 6. Conclusiones y lecciones aprendidas:** en el cual se resumen las principales conclusiones del estudio y algunas lecciones aprendidas.
 - **Referencias:** sección en la que se recopilan las referencias citadas en el documento.
- Anexo I. Objetivos estratégicos y específicos:** donde se recogen en tablas los objetivos de adaptación propuestos en este estudio.
- Anexo II. Catálogo de medidas:** donde se describen cada una de las medidas, incluyendo su clasificación desde el punto de vista de su naturaleza y su dimensión.

2. Cala Millor en el contexto actual

En esta sección se realiza una breve descripción de la zona desde el punto de vista físico, ambiental, socioeconómico y urbano, así como se describen las dinámicas marina y litoral que gobiernan la morfología de la playa de Cala Millor.

2.1. Descripción de la zona de estudio

2.1.1. Batimetría y sedimentos

La playa de Cala Millor se encuentra en la bahía de Son Servera (Mallorca), la cual está delimitada por el Cap des Pinar al Norte y la Punta de n'Amer al Sur (Figura 3).



Figura 3. Localización de la zona de estudio.

Esta playa urbana de arena media fina (Figura 4) se encuentra a caballo entre los términos municipales de Sant Llorenç des Cardassar y Son Servera (Figura 5).

Este arenal orientado al Este tiene una longitud de unos 1.700 metros y una anchura de playa seca variable con un valor medio de unos 30 m.

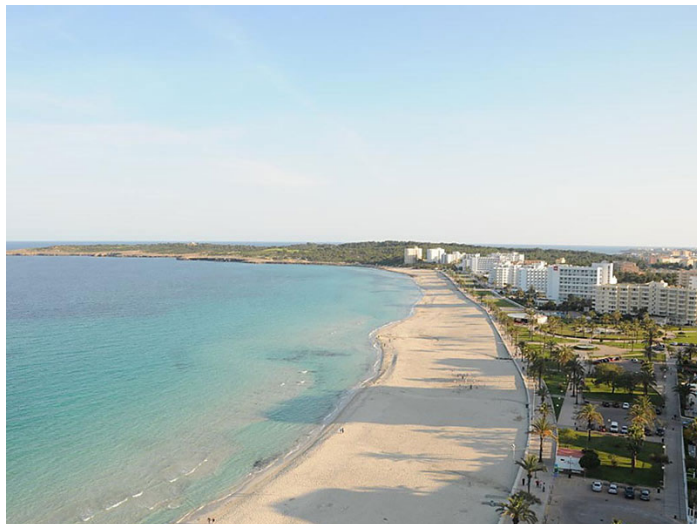


Figura 4. Vista panorámica de Cala Millor. Fuente imagen: <https://visitcalamillor.com/playa-cala-millor/> .



Figura 5. Playa de Cala Millor.

En la Figura 6 se muestra el mapa de ancho de playa actual (2024) elaborado con base en la información aportada por SOCIB. Como se observa en la figura, la mayor anchura de playa se encuentra en la zona central y al Norte de Cala Nau (30-50 m).

La zona con menor anchura de playa seca es Platja Petita (también denominada La Caleta) situada al Norte, donde la anchura es inferior a 10 m y tiene una naturaleza más rocosa.

También la zona de Cala Nau y al Sur de la zona central presentan una naturaleza rocosa y, durante determinadas épocas del año quedan al descubierto afloramientos rocosos, como se ha mencionado anteriormente (Figura 2).

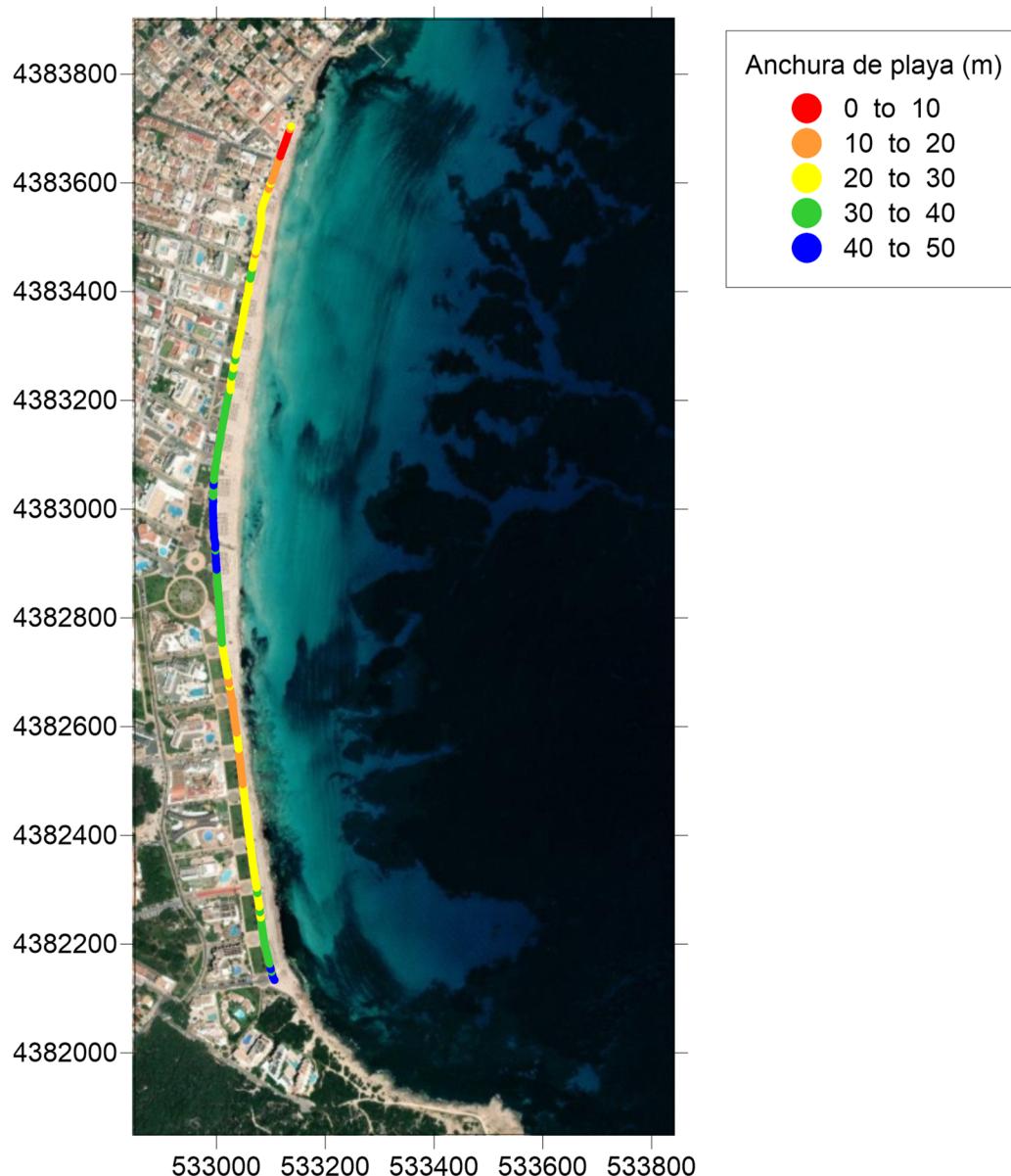


Figura 6. Ancho de playa actual (2024).

Al Norte del ámbito de estudio se encuentra el muelle de Cala Millor (Figura 5), desde el cual se puede acceder a los catamaranes que realizan rutas turísticas en la zona. Este muelle se encuentra apoyada sobre pilotes (Figura 7), por lo que no constituye una barrera al transporte litoral, lo cual es relevante en la dinámica litoral de la playa, como se comentará posteriormente.

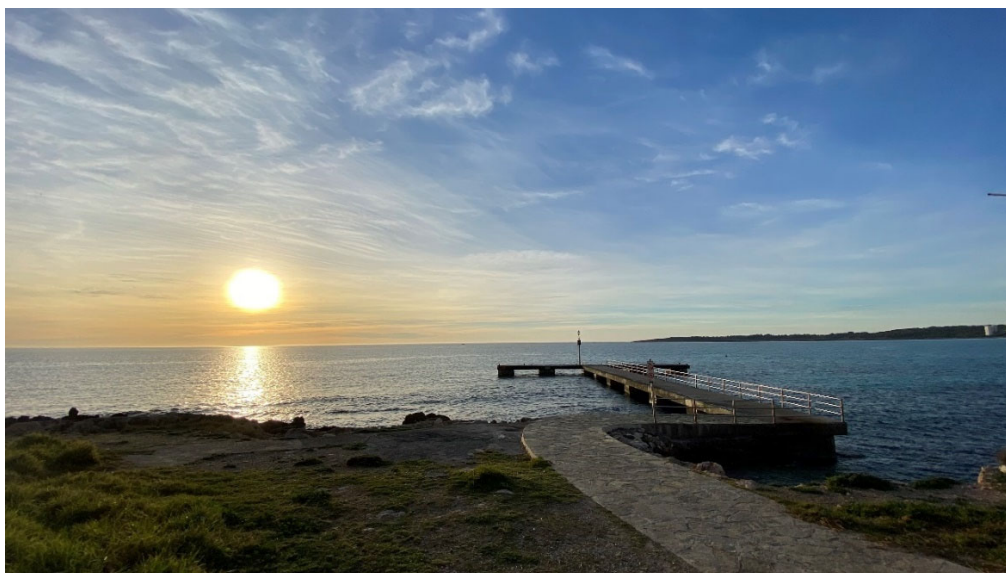


Figura 7. Muelle de Cala Millor.

La batimetría general de la zona se ha obtenido a partir de la combinación de la información de cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina y la batimetría general de *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO). En la Figura 8 se muestra la batimetría general de la zona de estudio.

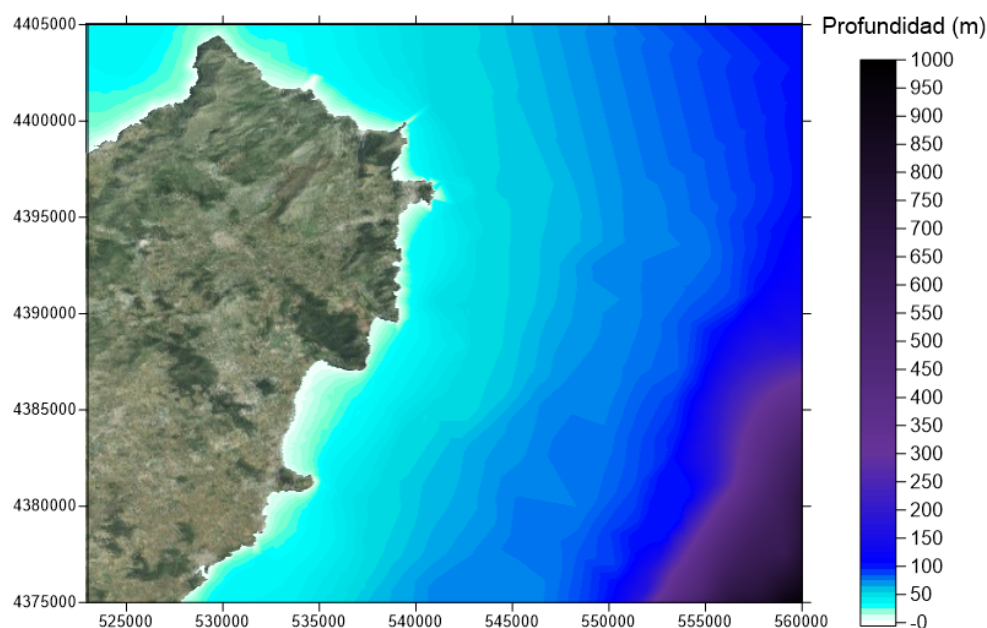


Figura 8. Batimetría general de la zona.

Para la caracterización de la zona de estudio, se ha empleado la batimetría de detalle de la campaña realizada por SOCIB en octubre de 2019 dentro de su programa de monitoreo de la playa (Fernández-Mora et al., 2023).

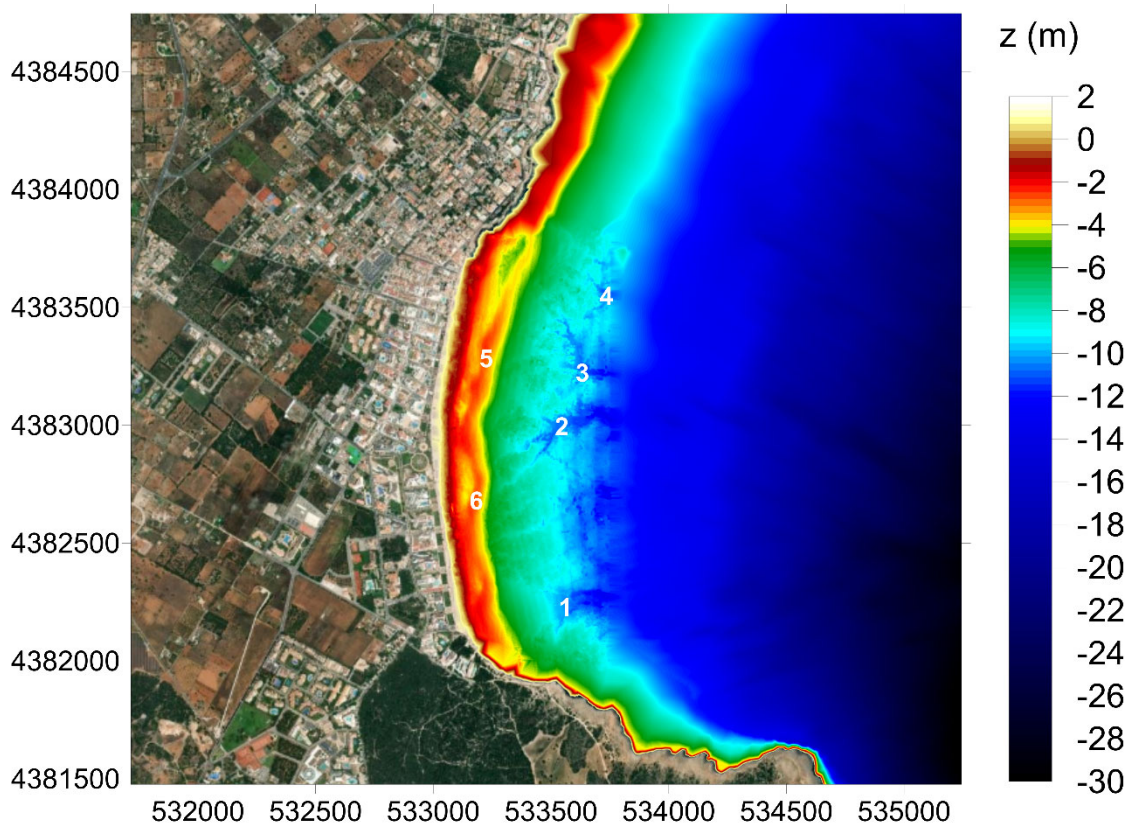


Figura 9. Topobatimetría de detalle: Modelo del terreno generado por SOCIB con base en la campaña de octubre de 2019 (Fernández-Mora, A. et al. 2025).

En la Figura 9 se muestra el modelo del terreno generado por el SOCIB con dicha campaña para la evaluación del riesgo en el WP3 (Fernández-Mora, A. et al. 2025). En la citada batimetría se observa la presencia de barras longitudinales y transversales (5 y 6 en Figura 9) en los tres primeros metros del perfil sumergido, tal y como se refleja en los estudios de IMEDEA (2005), Tintoré et al. (2009), Gómez-Pujol et al. (2011) e IHCantabria (2017). También existe un sistema de paleocanales (1, 2, 3 y 4 en Figura 9) entre los 8 y 15 m de profundidad que tienen una gran relevancia en la propagación del oleaje hacia la playa, como comentaron Fernández-Mora, A. et al. (2025) y se mostrará posteriormente.

La granulometría de la playa también presenta una gran variabilidad temporal y espacial en función de la época del año, la energía del oleaje en cada época y las actuaciones llevadas a cabo en la playa, tal y como reflejaron Gómez-Pujol et al. (2011) o IMEDEA (2005). Con el fin de analizar esa variabilidad, SOCIB ha estado tomando muestras de arena en cinco perfiles representativos de la playa desde 2011 (Fernández-Mora et al., 2023). En la Figura 10 se muestra el tamaño medio del sedimento (D_{50}) en varios perfiles de playa obtenidos por SOCIB en 2020, donde se

observa que esa variación espacial tanto a lo largo como a lo ancho de la playa. El tamaño medio de esa campaña del 2020 es de unos 0.35 mm aproximadamente.

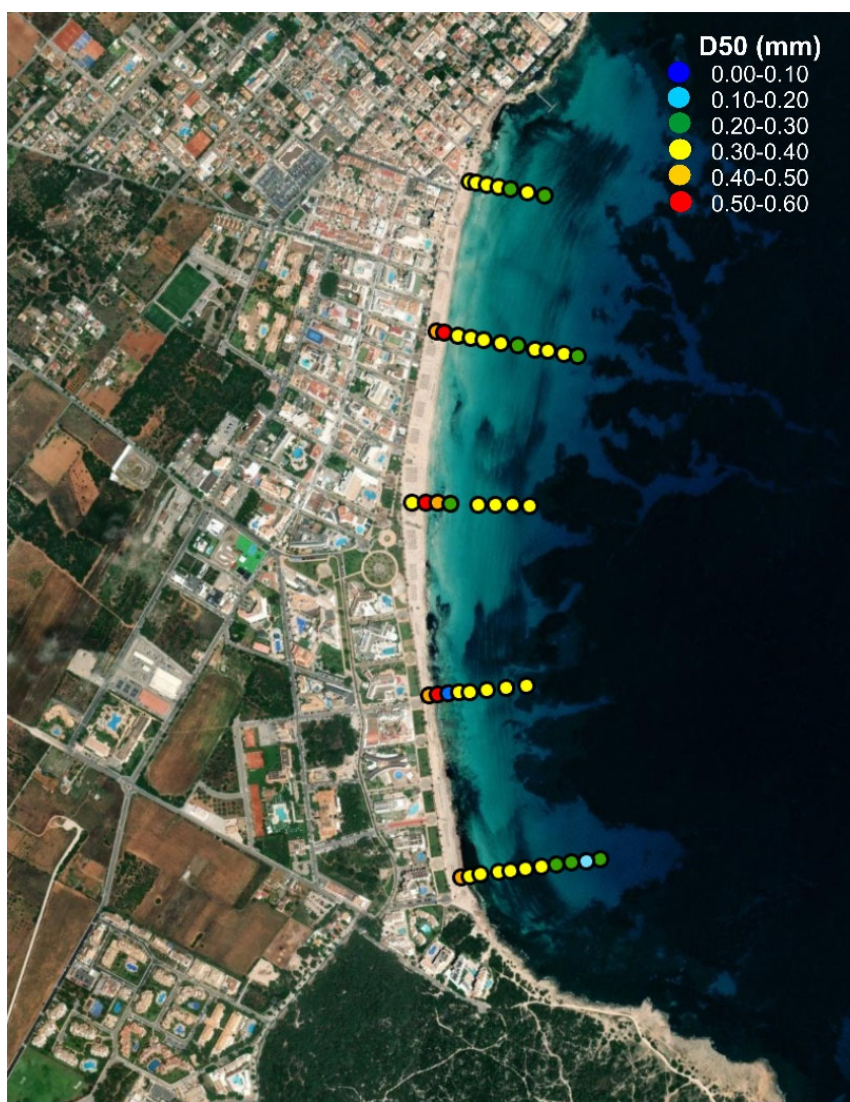


Figura 10. Variación del tamaño del sedimento a lo largo de la playa. Granulometría 2020 (Fernández-Mora et al., 2023).

2.1.2. Hábitats

Uno de los elementos más importantes en la zona de estudio es la densa pradera de la fanerógama *Posidonia oceanica* que se encuentra a unos 409 m de distancia de la orilla (Fernández-Mora, A. et al., 2025), entre las batimétricas -5 m y -35 m de profundidad aproximadamente (IMEDEA, 2005). Esta pradera de *Posidonia oceanica* (Figura 11) es una especie protegida al pertenecer al Lugar de Interés Comunitario (LIC) ESZZ16002 denominado Canal de Menorca (Figura 12), lo cual es uno de los aspectos a considerar a la hora de proponer actuaciones o medidas de adaptación en la zona de estudio.

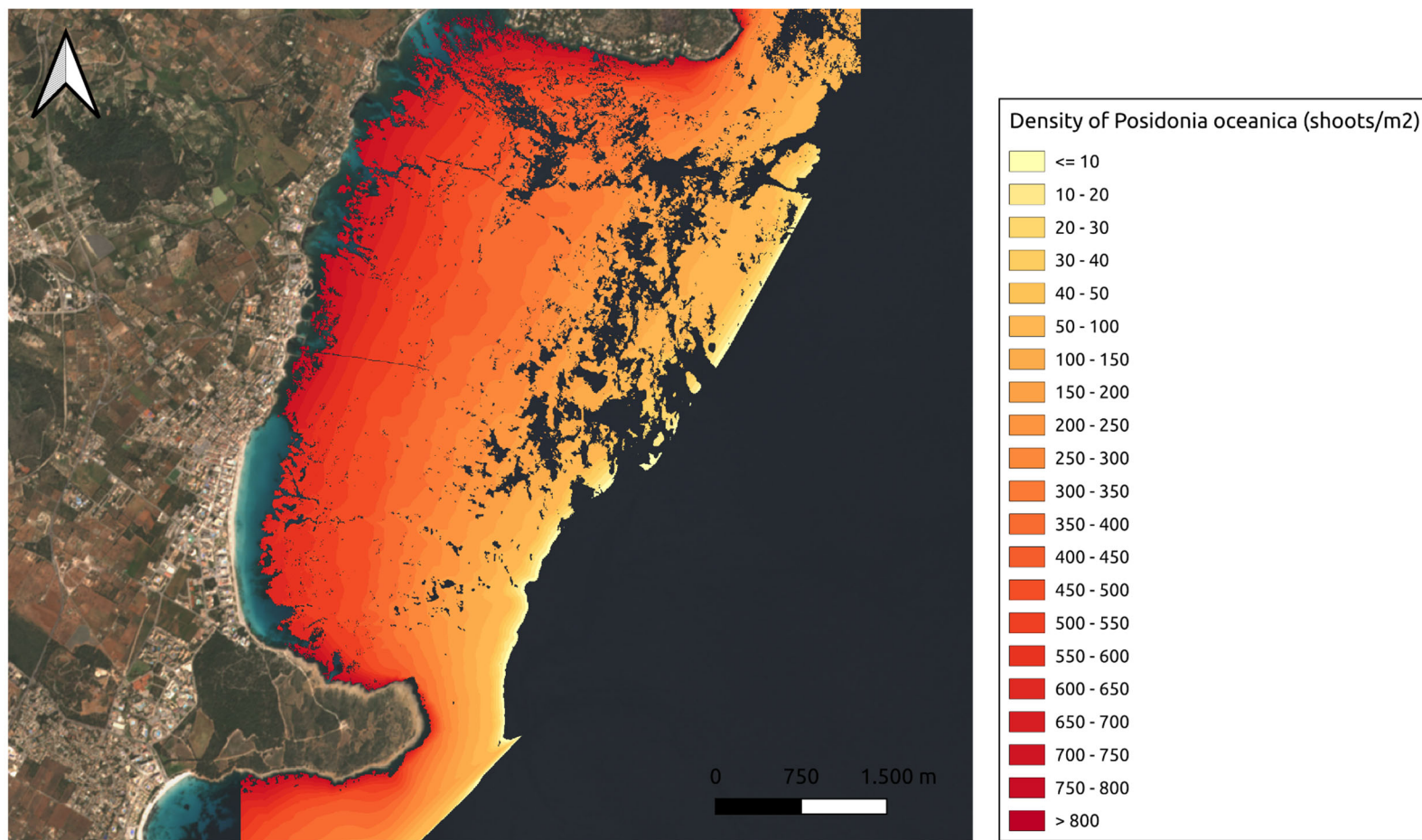


Figura 11. Densidad pradera *Posidonia oceanica* en la actualidad (Fernández-Mora, A. et al., 2025).

Conforme a los estudios realizados en el marco de este proyecto (Fernández-Mora, A. et al., 2025), la pradera de Posidonia oceánica, con una densidad de unas 600 plantas/m² en cotas menos profundas, ha mantenido su límite superior en las últimas décadas con algunas fluctuaciones, pero ha perdido capacidad de adaptación vertical de la planta en la últimas décadas, y se espera que su estado/densidad empeore como consecuencia del cambio climático, como se comentará posteriormente.

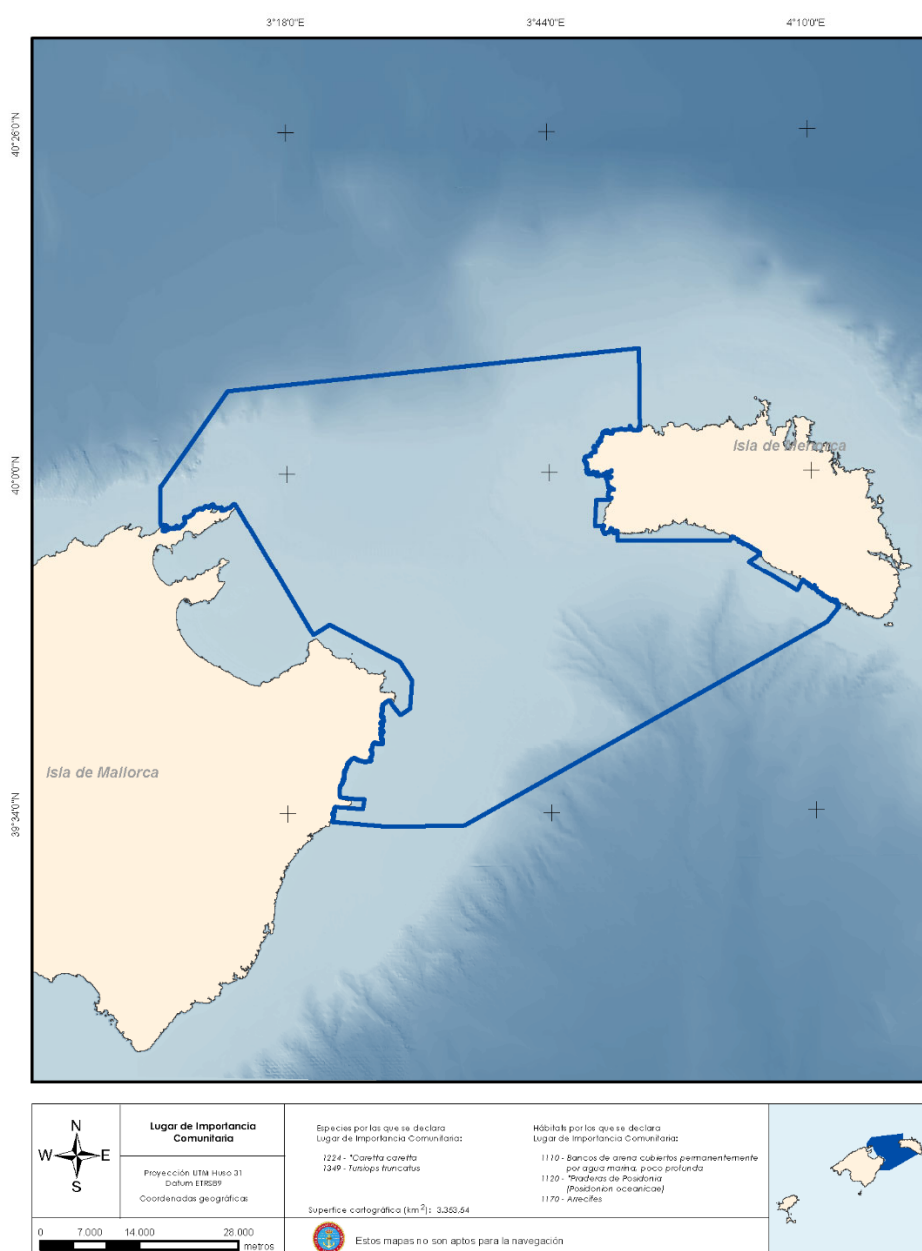


Figura 12. Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) denominado Canal de Menorca.

Otro hábitat a proteger es el sistema dunar existente en la zona de estudio. En los años 50, Cala Millor albergaba un extenso campo dunar a lo largo de toda la playa de unas 18.8 ha (Figura 13).

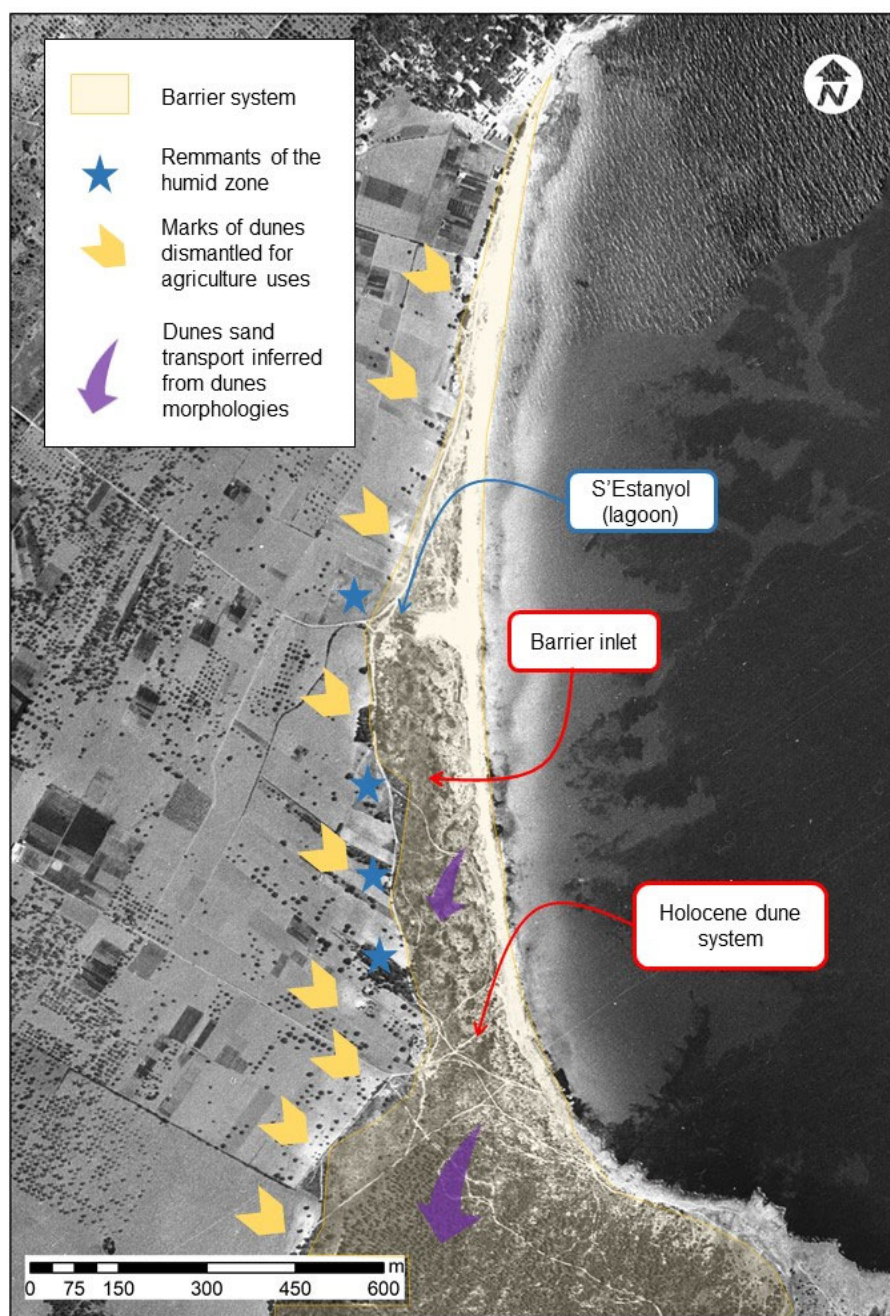


Figura 13. Principales hábitats terrestres asociados a la playa de Cala Millor en 1956. Fuente imagen: Ortofoto del Instituto Cartográfico y Geográfico de las Illes Balears (ICGIB), identificación hábitats (Fernández-Mora et al, 2025).

Sin embargo, el turismo y la urbanización del frente litoral han alterado completamente este sistema, reduciendo su extensión drásticamente a 5.1 ha en el periodo 1956-1973 (1956 y 1973 en Figura 14) y a 1.5 ha a partir de los años 90 (1990 y 2024 en Figura 14).

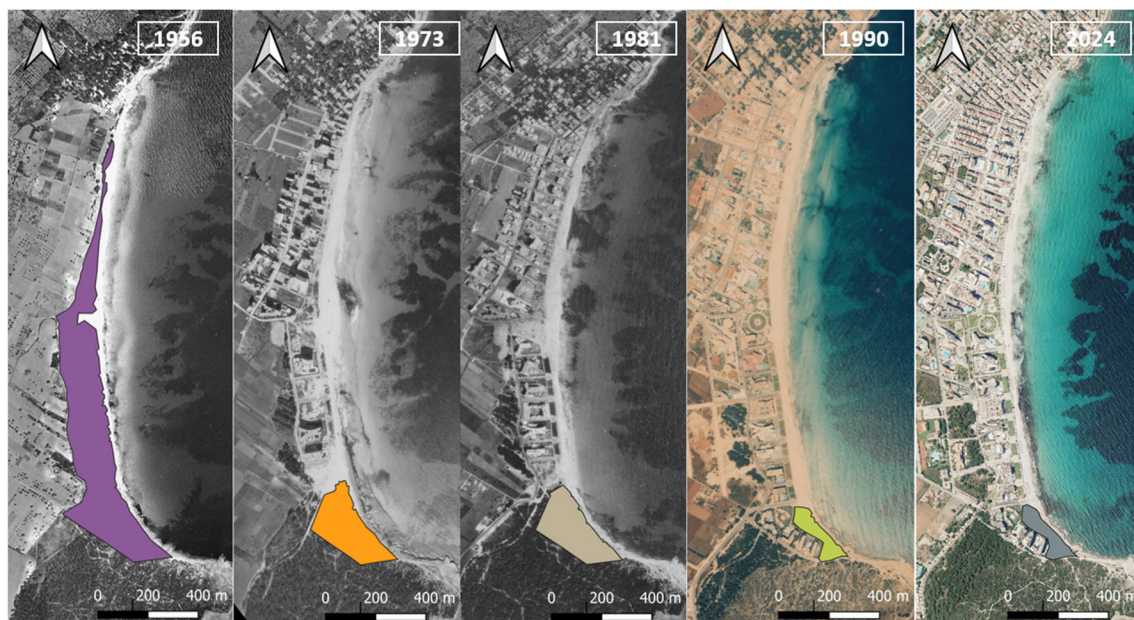


Figura 14. Evolución de la extensión del sistema dunar periodo 1956-2024. Fuente imagen: Fernández-Mora, A. et al. (2025)

En la actualidad sólo permanece un campo dunar relicto en el sector Sur de la playa, colgada sobre una costa rocosa, sin apenas vinculación con la playa salvo en la zona más situada al norte (Figura 15). Este campo dunar constituye uno de los hábitats a proteger de la Zona de Especial Conservación (ZEC) ES5310096 Punta de n'Amer (Figura 16).



Figura 15. Campo dunar remanente.



Figura 16. Zona de Especial Conservación (ZEC) ES5310096 Punta de n'Amer.

Otro elemento relevante en la historia del ámbito de estudio y el presente proyecto, es la laguna costera (estanyol) protegida por el sistema dunar en la parte central (Figura 13). Actualmente ese espacio es el Parc de la Mar (Figura 17), un entorno urbanizado con zonas ajardinadas y plazas, donde se encuentra el Café del Sol (Figura 18), que es un elemento clave a considerar en la propuesta de medidas como se comentará posteriormente. Del antiguo estanyol, sólo quedan restos de vegetación de humedal y rastros de antiguos canales de marisma (Fernández-Mora, A. et al. 2025).

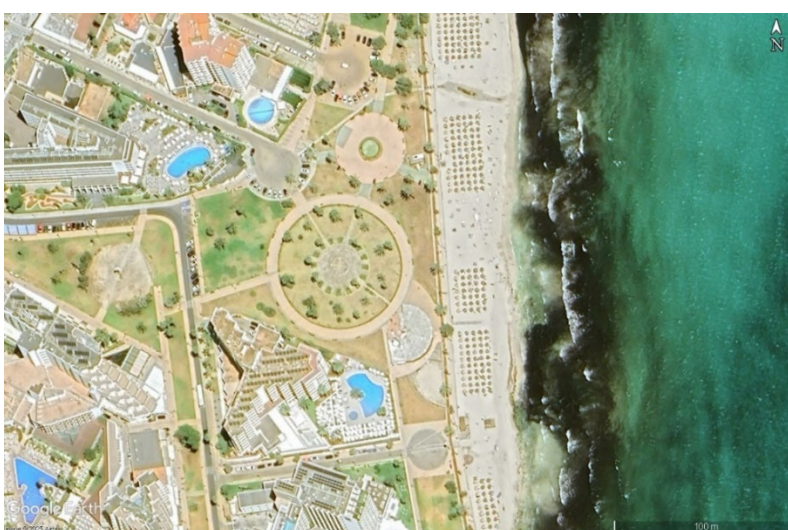


Figura 17. Zona central de la playa.



Figura 18. Café del Sol.

2.1.3. Ámbitos de regulación

Los entornos urbanos costeros son zonas altamente complejas de gestionar debido a la regulación y las normativas que dependen de las competencias que ostentan las distintas administraciones y a los usos o necesidades socioeconómicas si además es de un enclave turístico.

Cala Millor, al encontrarse a medio camino entre el paseo marítimo, la playa (tanto la emergida como la sumergida), los espacios naturales protegidos de Punta de n'Amer (Figura 16) y Canal de Menorca (Figura 12) y ser el turismo en motor de la socioeconomía del lugar, es un claro ejemplo de esa complejidad de gestión.

Por este motivo, uno de los primeros elementos clave para poder proponer actuaciones o medidas de adaptación es analizar cuáles son las competencias actuales para poder conocer la viabilidad de esas medidas o si habrá que consensuar nuevos ámbitos de regulación o alcanzar acuerdos entre las partes interesadas para poder implementar las soluciones de adaptación que se propongan en el marco del presente estudio.

Por un lado, está el ámbito competencial de la Dirección General de la Costa y el Mar, cuyos límites en tierra vienen definidos por el Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT, línea verde en la Figura 19) y la Ribera del Mar (línea azul en la Figura 19) y se extienden hacia el mar. En este ámbito competencial los usos permitidos están regulados en la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

Por otro lado, la Ley de Costas también establece un área para la defensa e integridad del DPMT denominada Zona de Servidumbre de Protección (ZSP, línea magenta en Figura 19), que en zonas urbanas es una franja de 20 m de ancho medidos desde el límite interior de la Ribera del Mar. En esta zona existe propiedad privada, pero las instalaciones, obras y usos están limitados.



Figura 19. Límites regulados por la Ley de Costas.

2.2. Caracterización de la dinámica marina

En este apartado se analiza la dinámica marina de la zona de estudio.

2.2.1. Clima marítimo en aguas intermedias

2.2.1.1. Oleaje

El objetivo de este estudio es conocer los patrones de comportamiento del oleaje en la playa de Cala Millor, con el fin de comprender su modelo de funcionamiento y proponer posteriormente medidas de adaptación para el largo plazo.

El SOCIB dispone de un sensor *Acoustic Wave and Current* (AWAC) situado a una profundidad de 17.65 m frente a la playa de Cala Millor, que resulta una buena fuente para caracterizar el clima marítimo local. Sin embargo, el registro de este sensor se extiende desde 2011 hasta la actualidad y, para analizar el largo plazo, es esencial disponer de series de clima marítimo multianuales en un periodo de al menos 30 años.

Por ese motivo, para este estudio se ha decidido emplear datos de reanálisis, los cuales permiten caracterizar correctamente el clima marítimo en la zona de estudio debido a su longitud y continuidad.

En particular, se ha utilizado la base de datos de reanálisis global DOW (*Downscaled Ocean Waves*), desarrollado en IHCantabria. Estos datos proporcionan información de oleaje cerca de costa con alta resolución espacial y series de los parámetros del oleaje horarios durante periodos históricos (productos *hindcast*) de más de 30 años, de forma que los datos permitan una caracterización del clima marítimo en el largo plazo sólida.

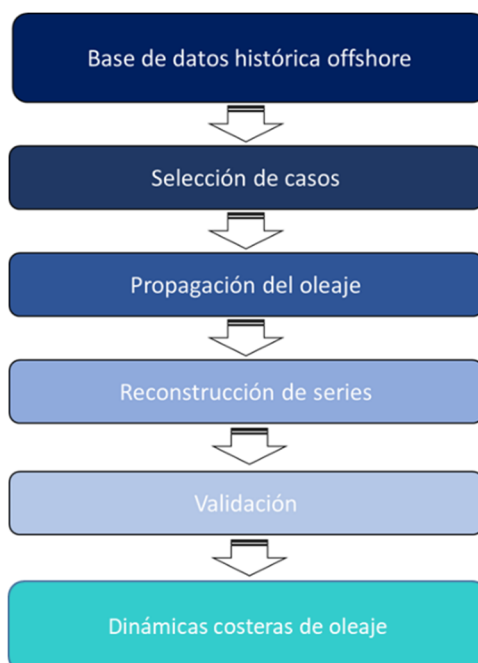


Figura 20. Esquema de la metodología de *downscaling* híbrido implementado para la transferencia del clima de oleaje a los puntos costeros y generación de la base de datos *Downscaling Ocean Waves* (DOW).

La base de datos DOW se ha generado mediante una metodología de regionalización híbrida (*downscaling* híbrido), que combina el modelado numérico con técnicas matemático-estadísticas. En la Figura 20 se muestra un esquema general de la metodología para la obtención de la base de datos DOW considerando la aproximación propuesta por Camus et al. (2013).

El punto DOW seleccionado se encuentra a 39.5928° de latitud Norte, 3.403° de longitud Este y una profundidad de 19 m (punto rojo en Figura 21), ya que es el punto de la base de datos más próximo al AWAC del SOCIB (punto azul en Figura 21), para poder calibrar la serie DOW con la información instrumental local.

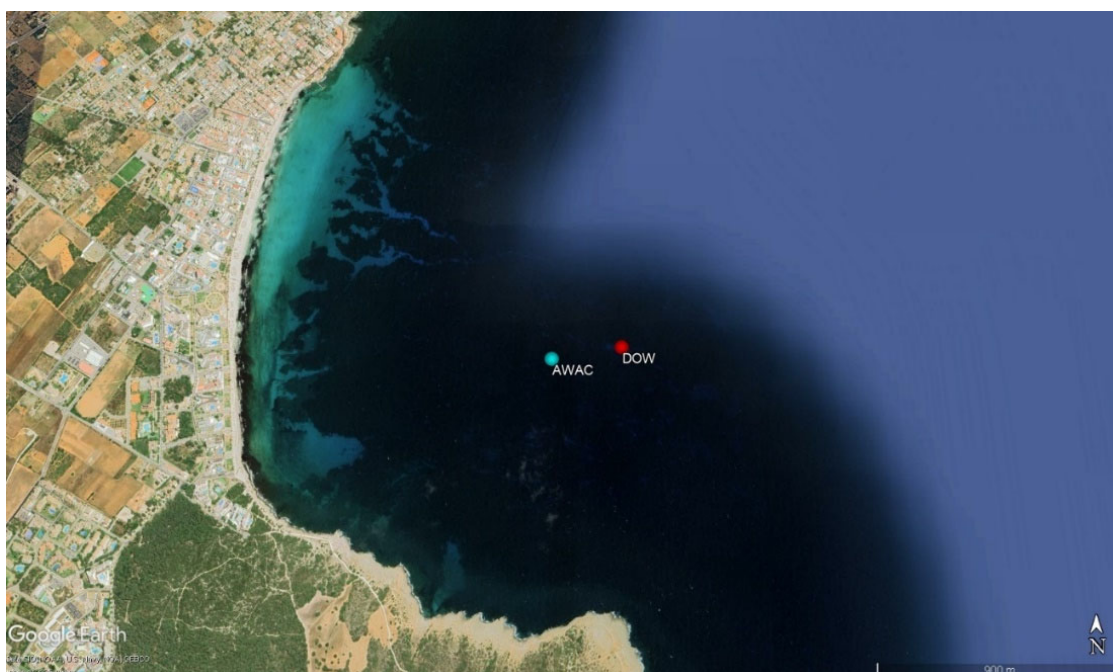


Figura 21. Localización del punto DOW.

La calibración de los datos DOW con la información del AWAC se ha realizado con base en la metodología de calibración direccional de Mínguez et al. (2011).

A modo de ejemplo, en la Figura 22 se muestra la comparación las series temporales de altura de ola significativa (h_s) y periodo medio del oleaje ($tm02$) correspondientes al AWAC (azul) y el DOW calibrado (naranja) en el año 2012.

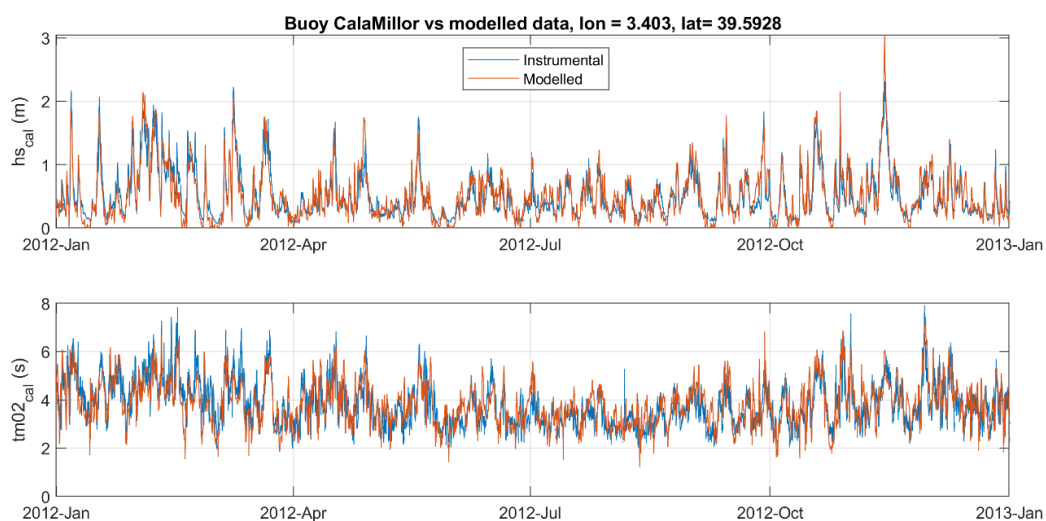


Figura 22. Serie temporal de los datos instrumentales (azul) y calibrados (naranja) altura de ola significativa (hs) y periodo medio (tm02) durante el año 2012.

En la Figura 23 se resumen las características del clima marítimo en el periodo 1985-2021 en la localización del punto DOW. En esta figura se muestran la rosa de oleaje y tabla de distribución de oleajes, donde se aprecia cómo los oleajes reinantes del ENE (20.30%), E (23.30%), ESE (21.22%) y del SE (14.64), siendo los más energéticos los procedentes del ESE, E y los del NE, aunque estos últimos tienen una menor probabilidad de ocurrencia (6.50%).

También se muestra en la esquina inferior izquierda el régimen medio de altura de ola (datos en negro), su ajuste a una distribución *Generalized Extreme Value* (GEV, en rojo) y se ha representado en un papel probabilístico de Gumbel. Como se observa en este régimen, los oleajes en esta zona son en general poco energéticos, con un 90% de los oleajes con una altura de ola inferior a 1 m y la altura media está en torno a 0.46 m. En cuanto a los periodos, el 75% de los oleajes tienen un periodo de pico inferior a 7 s, sólo los oleajes del NNE y del NE muestran periodos superiores a 12 s.

Por otro lado, cabe señalar que el oleaje en la zona de estudio presenta una gran variabilidad estacional. Durante los meses de invierno diciembre-febrero (invierno en Figura 24), los oleajes son más energéticos con alturas significantes máximas entre 4 y 6 m y periodos máximos entre 10 y 13 s. En cuanto a las direcciones, la distribución de los oleajes es similar a la observada a escala anual, con una predominancia de los oleajes de componente ENE (22%) y del E (21%), aunque los oleajes del ESE son menos frecuentes (16%). En cambio, en los meses verano de junio a agosto (verano en Figura 24) los oleajes son menos energéticos, con alturas de ola significantes máximas de entre 2.5 y 3 m y periodos de pico máximos entre 7 y 10 s. Además, en estos meses se observa un cambio en la distribución de los oleajes, con una disminución de ocurrencia de los oleajes del ENE al 10% y un aumento 10% aproximadamente de los oleajes de ESE-SE.

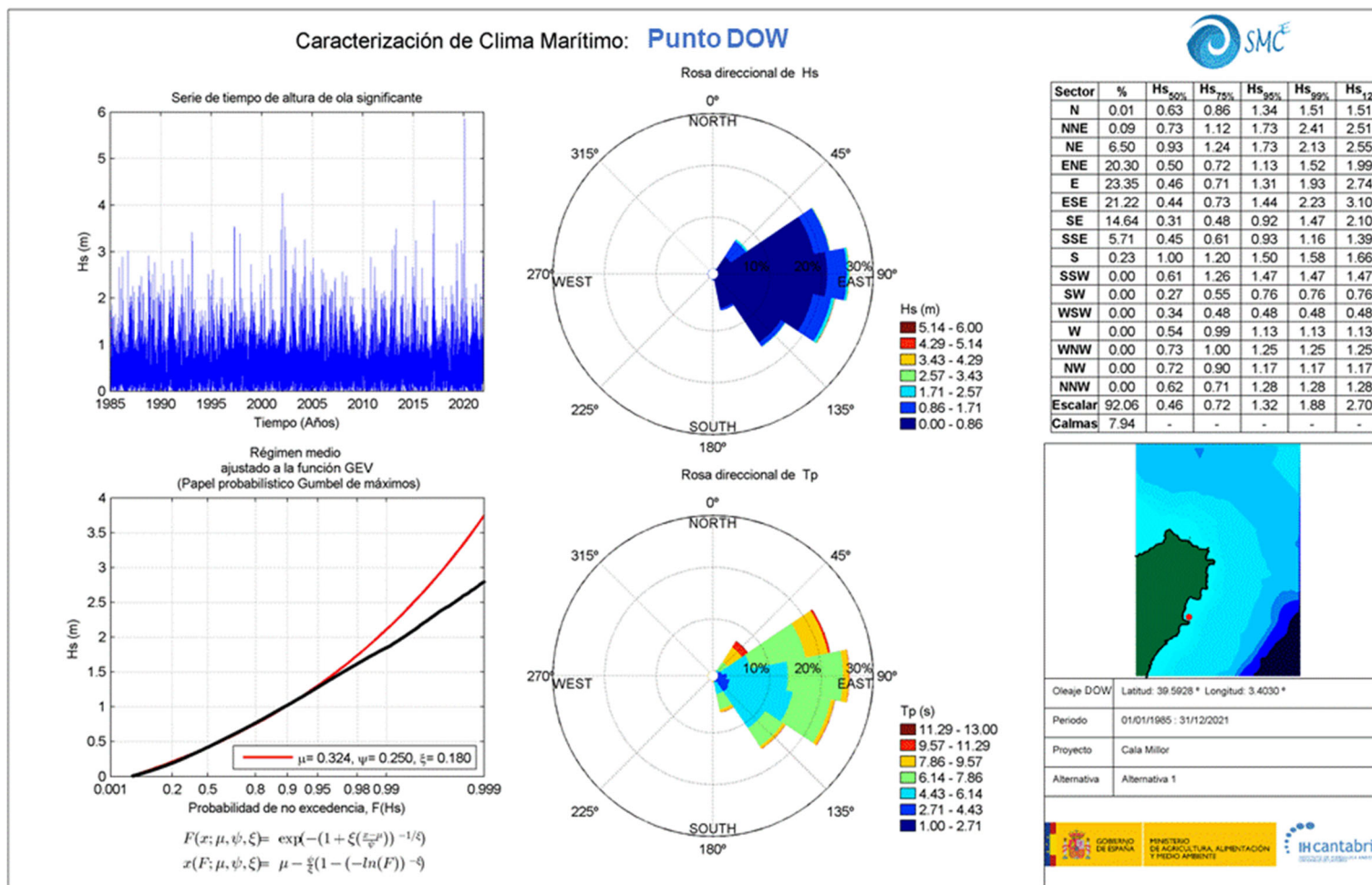


Figura 23. Caracterización del clima marítimo en el punto DOW.

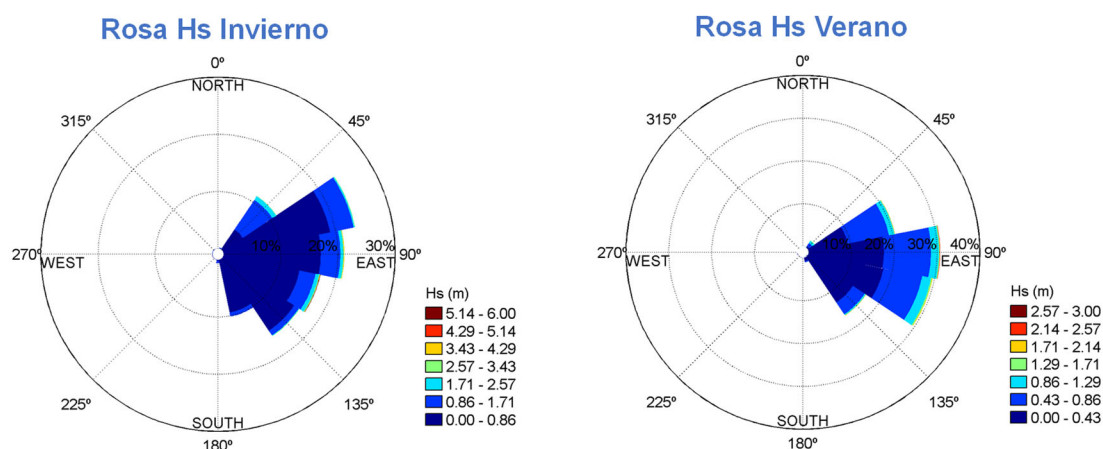


Figura 24. Rosas de oleaje en invierno y verano.

Esta variabilidad estacional juega un papel importante en el modelo morfodinámico de funcionamiento de la playa y en la distribución del sedimento en la playa de Cala Millor, tal y como comentaron Fernández-Mora, A. et al. 2025).

2.2.1.2. Nivel del mar

El nivel del mar se puede definir como 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 oscilaciones resultantes son causadas por movimientos de largo periodo asociados a la meteorología y a los movimientos astronómicos. La oscilación del nivel medio del mar, asociada a la evolución de los sistemas meteorológicos, tiene carácter aleatorio y se denomina marea meteorológica. La oscilación del nivel asociada a los movimientos astronómicos tiene carácter determinista y se le denomina marea astronómica. La combinación de las estadísticas de ambas mareas es lo que se denomina régimen del nivel del mar.

La información necesaria para la obtención del régimen del nivel de marea se ha obtenido de la combinación de la serie de marea meteorológica con la serie de marea astronómica.

La serie de marea meteorológica se ha obtenido de la base de datos GOS (*Global Ocean Surges*), que proporciona la marea meteorológica a escala horaria durante las últimas décadas. La simulación de esta base de datos se ha realizado mediante el modelo ROMS (*Regional Ocean Model System*) desarrollado por Rutgers University (Shchepetkin y McWilliams, 2005) y forzado con información del reanálisis global ERA5 (Hersbach et al., 2020). El modelo empleado ha sido configurado con una malla que cubre toda Europa, dicha configuración ha sido calibrada y validada con datos instrumentales (Cid et al., 2014).

La marea astronómica se calcula mediante la aplicación GOT (*Global Ocean Tides*), que utiliza las componentes de la marea procedente del modelo global de mareas TPXO9 en su versión 5, desarrollado por la Universidad de Oregon (Egbert et al., 1994; Egbert y Erofeeva, 2002). El TPXO es un modelo que asimila la información del nivel del mar derivada de las observaciones del sensor TOPEX/Poseidon. Dicho modelo representa un ajuste óptimo (en términos de mínimos cuadrados) de la ecuación de marea de Laplace a los datos de satélite resultantes de la misión TOPEX/Poseidon. Actualmente, el modelo TPXO9 es uno de los modelos globales de marea más precisos. La base de datos TPXO9 que almacena las componentes de la marea, así como una descripción más detallada del modelo numérico, se pueden encontrar en la siguiente dirección de Internet: <https://www.tpxo.net/global>.

Como se ha comentado la variable nivel del mar se ha obtenido sumando la serie de marea astronómica y la serie de marea meteorológica, lo cual permite caracterizar estadísticamente el nivel del mar (Figura 25).

El nivel del mar en la zona de estudio varía entre aproximadamente -0.35 y 0.5 m respecto al nivel medio del mar en la zona de estudio (rango de marea de 85 cm), el valor medio es aproximadamente 0 m y el valor asociado a un periodo de retorno de 10 años es aproximadamente 0.43 m.

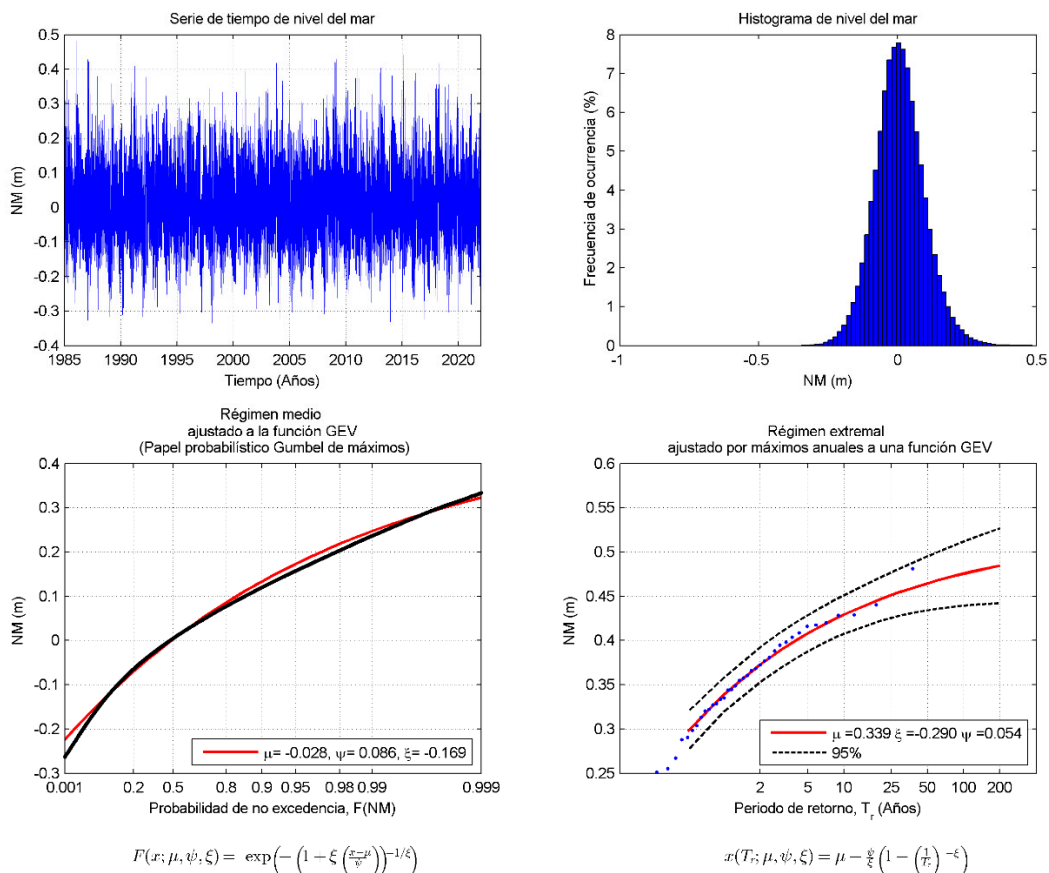


Figura 25. Caracterización del nivel medio del mar.

2.2.2. Clima marítimo en la zona de estudio

Al objeto de caracterizar el clima marítimo en la playa, se han seleccionado una serie de oleajes representativos de la serie temporal DOW y se han propagado desde profundidades intermedias hasta pie de playa. Esto permite: 1) caracterizar los patrones de comportamiento del oleaje, tanto en condiciones medias como extremas; 2) reconstruir la serie en varios puntos próximos a la playa y, de este modo, poder analizar su variabilidad espacial.

La propagación del oleaje se ha realizado utilizando el Modelo de Propagación de Oleaje y Corrientes (OLUCA) incluido en el Sistema de Modelado Costero (SMC, González et al., 2007; Quetzalcóatl et al., 2019), del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria). Dicho modelo es capaz de simular los procesos antes descritos, tanto para oleaje monocromático como para oleaje espectral, resolviendo la forma parabólica de la ecuación de pendiente suave (*Mild Slope*) e incorpora modelos de propagación no lineales, simulación de capa límite turbulenta o laminar, la rugosidad del fondo, entre otros factores.

Con el fin de caracterizar correctamente el abanico de direcciones de oleaje que alcanzan principalmente la playa (NE-SSE), se han diseñado tres mallas de propagación con una resolución de 10 m (Figura 26).

Utilizando dichas mallas de estudio se han propagado 300 casos de oleaje espectral, los cuales se han seleccionado mediante la técnica de clasificación y selección MaxDiss (*Maximum Dissimilarity*), que es la más adecuada para seleccionar un conjunto de estados de mar representativo del clima marítimo en aguas abiertas y aplicar posteriormente una metodología para transferir dicho clima marítimo a la zona costera (Camus et al., 2011).

- Direcciones: NE, ENE, E, ESE, SE, SSE.
- Alturas de ola (m): 0.5-7.30 aproximadamente
- Periodos (segundos): 5-12.5 aproximadamente.
- Nivel marea (m): bajamar, media marea y pleamar.

Para el análisis de las dinámicas en la zona de estudio, se han propagado espectros tipo TMA (Bouws et al., 1985) al que se le aplica la función de dispersión angular propuesta por Borgman (1984). Cada espectro propagado queda definido por cinco parámetros:

- H_s : Altura de ola significativa, correspondiente a la altura del momento cero espectral.
- T_p : Período de pico.
- θ_m : Dirección media.
- γ : Factor de ensanchamiento del pico.
- σ_θ : Parámetro de dispersión angular.

Los parámetros γ y σ_θ de caracterización de la forma del espectro bidimensional dependen del período de pico.

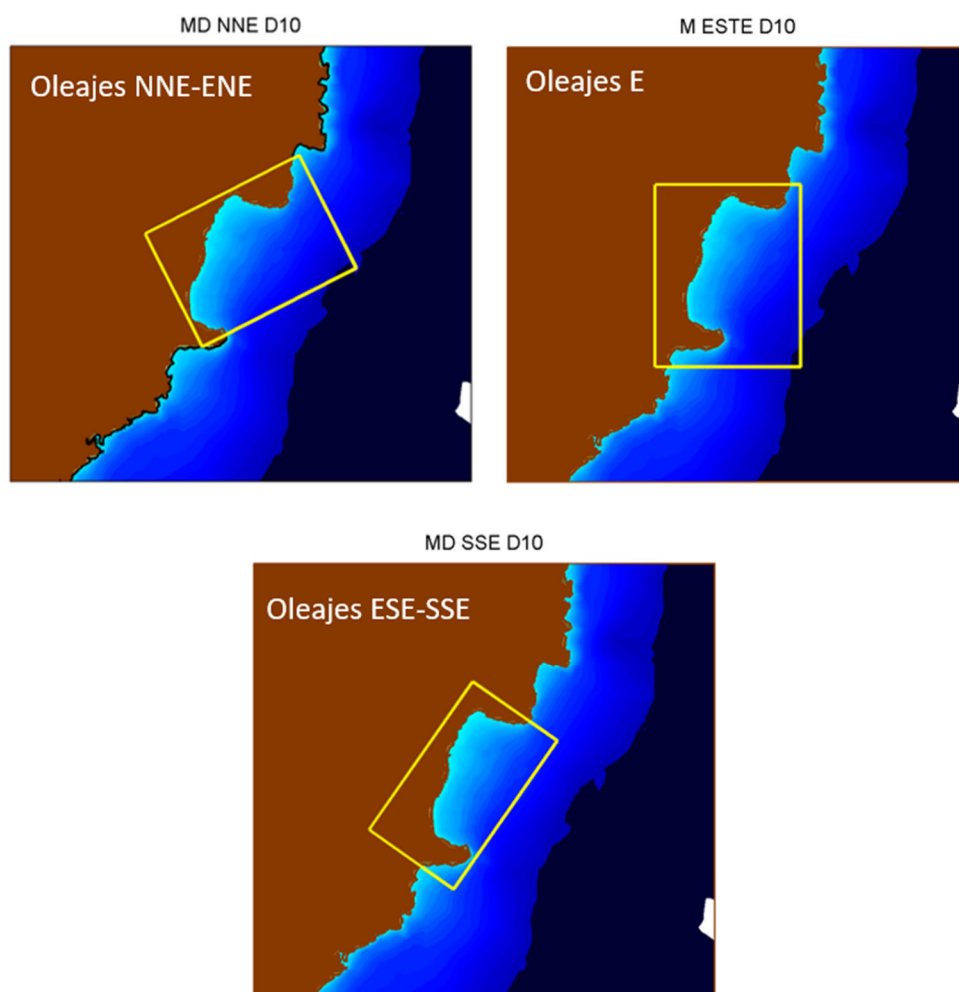


Figura 26. Mallas de cálculo.

La serie de casos seleccionados ha sido propagada empleando la batimetría producto de la combinación de la batimetría general (Figura 8) y el modelo digital del terreno generado por el SOCIB (Figura 9) para la caracterización del riesgo frente al cambio climático en el marco del presente proyecto (Fernández-Mora, A. et al., 2025).

Los resultados obtenidos en cada propagación permiten conocer cómo varía la altura de ola y la dirección del oleaje a medida al propagarse desde la ubicación del punto DOW (19 m de profundidad) hasta la playa.

Con el fin conocer el comportamiento de la playa frente a los efectos de temporales, para cada dirección se ha considerado la altura de ola superada sólo 12 horas al año H_{s12} con su correspondiente periodo de pico. Mientras que, para el estudio de la dinámica en condiciones normales de oleaje, se ha seleccionado la $H_{s50\%}$ con una probabilidad de ocurrencia del 50% y el T_p asociado de mayor probabilidad.

A modo de ejemplo, en las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos para los temporales del NE (Figura 27), E (Figura 28) y del SE (Figura 29).

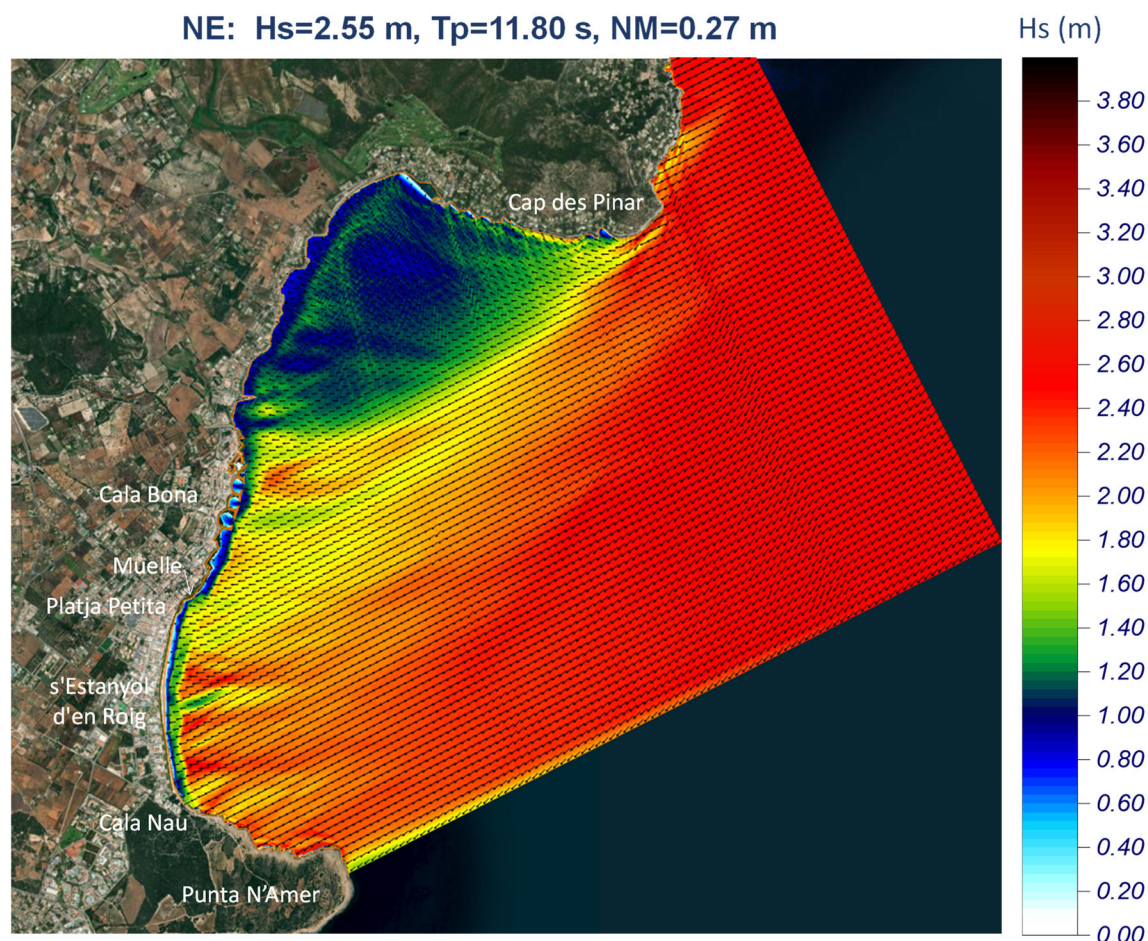


Figura 27. Temporal de oleaje del NE.

En la Figura 27 se muestra el gráfico de altura de ola significativa y dirección de oleaje correspondiente a un temporal del NE ($H_s=2.55$ m $T_p=11.80$ s), donde la escala de colores indica la magnitud de la altura de ola; mientras que la flecha indica la dirección de procedencia del oleaje y su tamaño la magnitud de la altura de ola. Como se aprecia en la figura, el oleaje al propagarse a la zona de estudio pierde gran parte de su energía debido a la refracción del oleaje y el asomeramiento del oleaje por la reducción de la profundidad.

Esto hace que la altura de ola en la zona de estudio sea inferior a 1.8 m y que el oleaje adquiera una mayor componente Este al llegar al sector Norte del ámbito de estudio, tal y como se muestra en la Figura 27. Sin embargo, en la zona central y Sur, se producen concentraciones de oleaje, que hace que en esos tramos de la costa se alcancen alturas de ola de 2.4-2.6 m. Esto se debe a la existencia de los paleocanales, que hace que el oleaje se concentre en determinadas zonas de la playa. En este caso, se observa cómo el paleocanal existente frente al s'Estanyol d'en Roig (2 en Figura 9), desvía la energía que incide en esa zona y la concentra a ambos lados de dicho tramo de costa.

Debido a la orientación Este de la playa, los temporales de esta dirección (la más frecuente con 23.30%, véase Figura 23) inciden directamente sobre la playa, de forma que en las inmediaciones de la misma se pueden encontrar alturas de entre 2.5 y 2.7 m, como puede observarse en la Figura 28. En este caso, también se aprecia el patrón de reducción y concentración del oleaje en los paleocanales (1 y 2 en Figura 9), que producen una reducción de la altura de ola en la zona central y en sa Mániga (alturas de aproximadamente 2 m y 1.75 m respectivamente).

E: $H_s=2.74$ m, $T_p=9.30$ s, $NM=0.27$ m

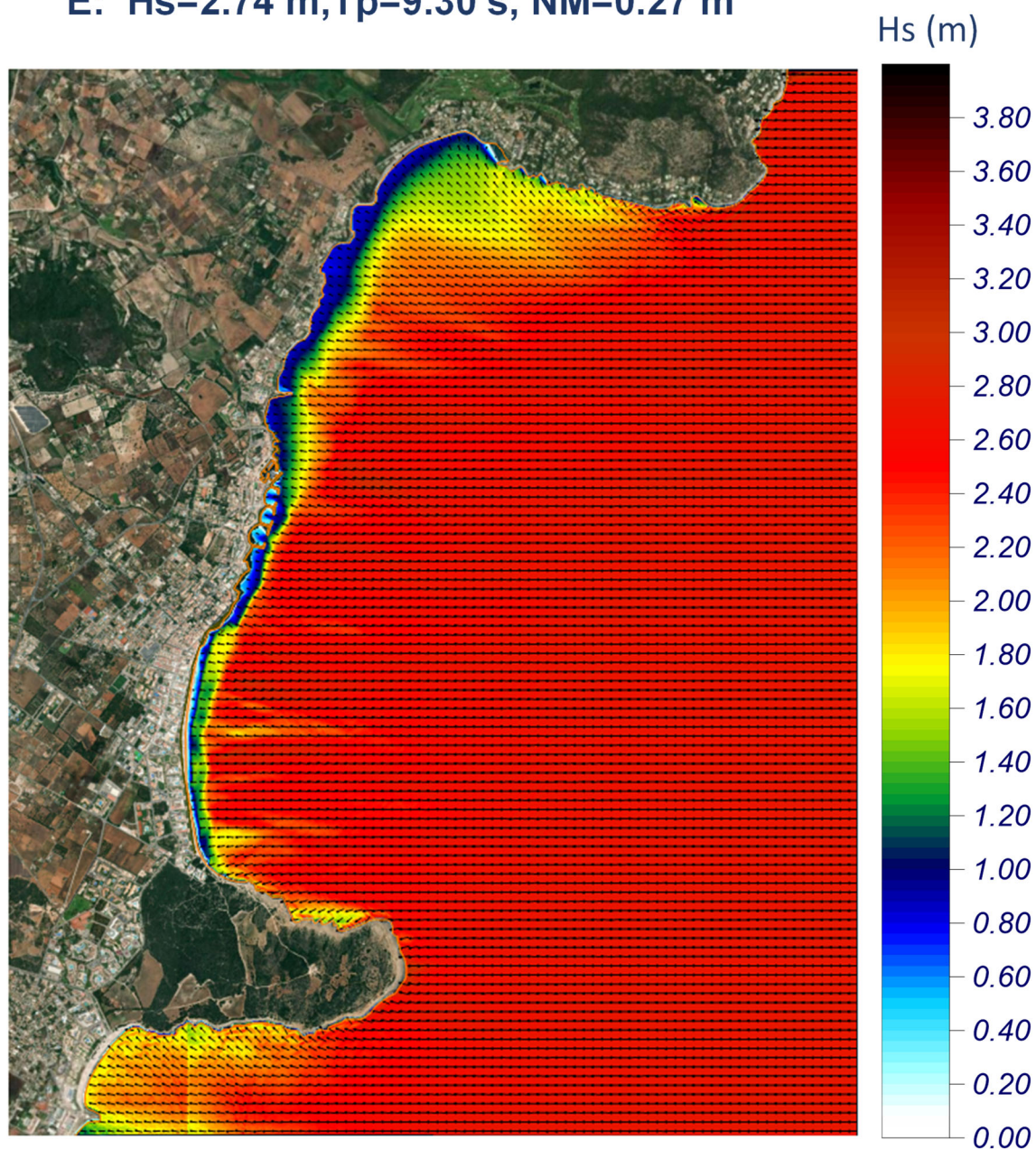


Figura 28. Temporal de oleaje del E.

Por último, en la Figura 29 se muestra la altura de ola asociada a un temporal del SE. En este caso, se observa que la playa queda al abrigo de Punta n'Amer, haciendo que la altura de ola en la zona de Cala Nau se reduzca a la mitad (alturas inferiores a 1 m) y en el resto de la playa sean del orden de 1.2 m, salvo en la zona de Platja Petita (La Caleta), donde ya se observan alturas de hasta 1.5-1.6 m.

SE: $H_s=2.10$ m, $T_p=8.25$ s, $NM=0.27$ m

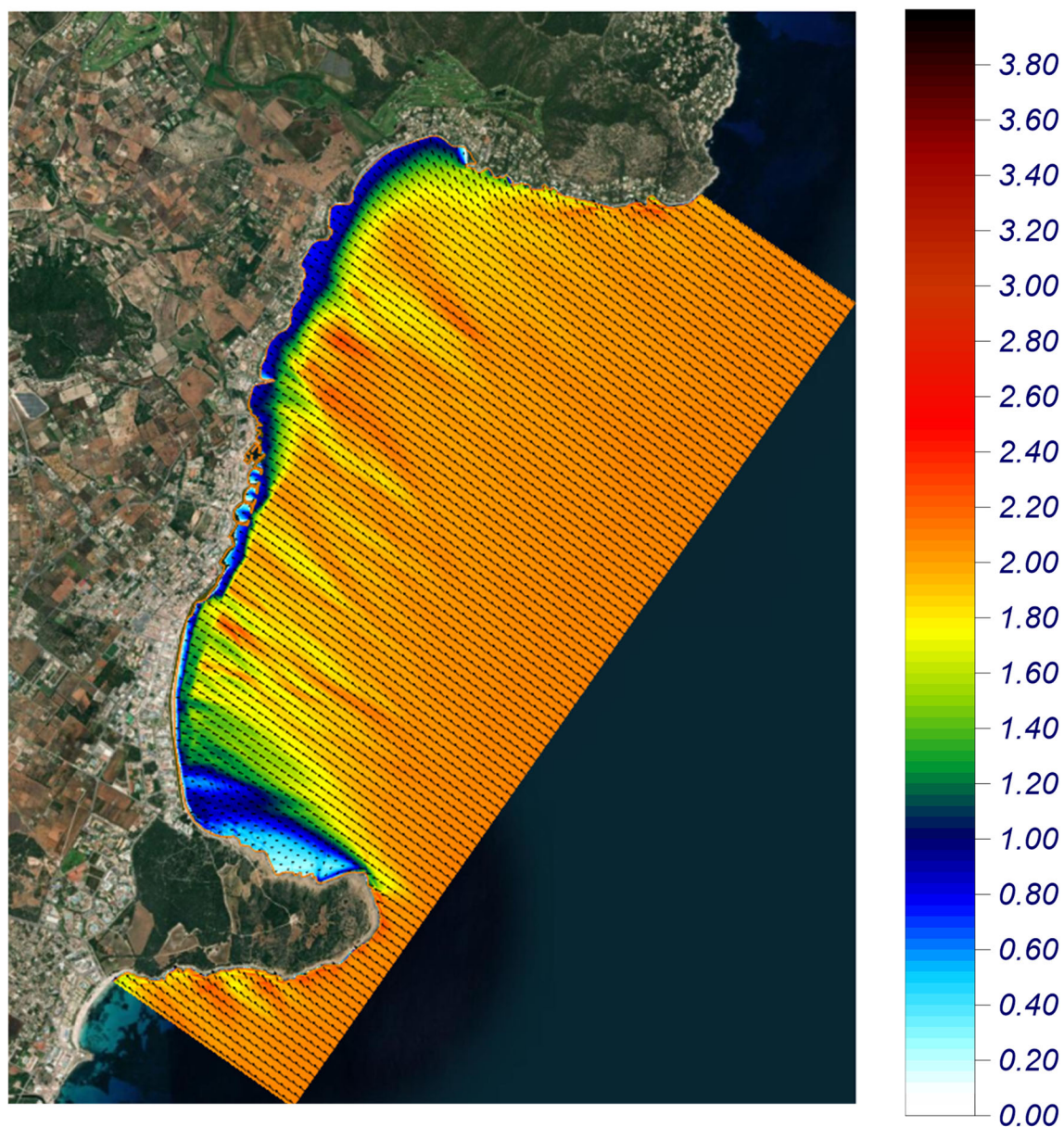


Figura 29. Temporal de oleaje del SE.

Del análisis de los oleajes en condiciones medias y extremas analizadas en este estudio, se concluye que:

- Cala Millor se encuentra en zona Sur de la bahía de Son Servera y tiene una orientación E, lo cual hace que se encuentre expuesta a los oleajes más frecuentes de la zona (sector ENE-ESE, 65% probabilidad aproximadamente).
- Las propagaciones del oleaje en las inmediaciones de la playa se encuentran condicionadas por los paleocanales y la pradera de *Posidonia oceanica*.
- Los paleocanales generan concentraciones del oleaje en determinados sectores de la playa en función de la dirección del oleaje y la energía del mismo, dando lugar a patrones de aumento y disminución de altura de ola a lo largo de la playa, de mayor entidad cuanto mayor es la energía del oleaje. Este patrón, junto con la formación de barras transversales y longitudinales observadas en varias topobatimetrías de la zona (Fernández-Mora, A. et al., 2025), son las que condicionan el sistema de corrientes de la playa.
- Respecto a la *Posidonia oceanica*, en general ésta tiende a reducir la energía que alcanza la costa, pero la importancia de su efecto respecto a otros procesos morfodinámicos depende de la dirección e intensidad del oleaje, tal y como se indica en Fernández-Mora, A. et al. (2025).
- En cuanto a direcciones, los temporales procedentes de NE (6.5%) disminuyen al propagarse en la bahía debido a la difracción en Cap des Pinar en el extremo Norte de la bahía. Esto hace que en Platja Petita la altura de ola sea del orden de 1.8 m; mientras que, en el resto de la playa, que queda fuera del alcance de la zona de abrigo del cabo, la altura sea superior. En casos de oleajes medios al contar con periodos pequeños, el oleaje no gira tanto como en situación de temporal y la zona de influencia de Cap des Pinar es mayor, alcanzando el sector central de la playa. En este caso, la altura de ola es inferior a los 0.5 m en la zona Norte de la playa, mientras que Sur alcanza valores de entre 0.7 y 0.8 m. Cabe señalar, que en condiciones medias también se observa la influencia de los paleocanales que generan patrones de aumento y disminución de altura de ola en zona central de la playa.
- Los oleajes del ENE, E y SSE inciden directamente en la playa de Cala Millor, sin apenas refractarse, por lo que la energía que alcanza la costa es prácticamente la misma que la del punto DOW. Al igual que en el oleaje del NE, cabe resaltar las desviaciones de energía como consecuencia de los paleocanales en la zona central y Sur de la playa.
- Por último, el área de estudio se encuentra protegida de los oleajes del SSE y SE debido a la difracción del oleaje en Punta de n'Amer; con lo cual, las alturas de ola a lo largo de la playa son inferiores que los casos anteriores. En particular, en el caso del SE, en la zona Sur las alturas de ola son inferiores a 1 m en la zona de Cala Nau, y va aumentando hacia el norte a medida que va disminuyendo en efecto de la difracción (1.2 m en la zona centro y unos 1.5 m en el Norte). En el caso del SSE, la zona de sombra se extiende más hacia el norte de la playa, haciendo que la altura de ola sea inferior a 0.5 m en la mitad Sur de la playa; mientras que, a partir del centro, va incrementando la altura hasta alcanzar los 1.2 m en la zona de La Caleta o Platja Petita.

- En el caso de los oleajes medios el patrón de comportamiento es similar al de los extremos, sólo que los efectos son menores debidos a que son menos energéticos.

Con el objeto de caracterizar el clima marítimo en las inmediaciones de la zona de estudio, se han reconstruido la serie de oleaje en 40 puntos próximos a la costa empleando los resultados obtenidos al propagar los casos seleccionados y la técnica de reconstrucción propuesta en Camus et al. (2011). En la Figura 30 se muestran algunos de los puntos seleccionados para la caracterización del clima marítimo en las inmediaciones de la zona de estudio.



Figura 30. Localización de algunos de los puntos objetivo reconstruidos para la caracterización del oleaje en la zona de estudio.

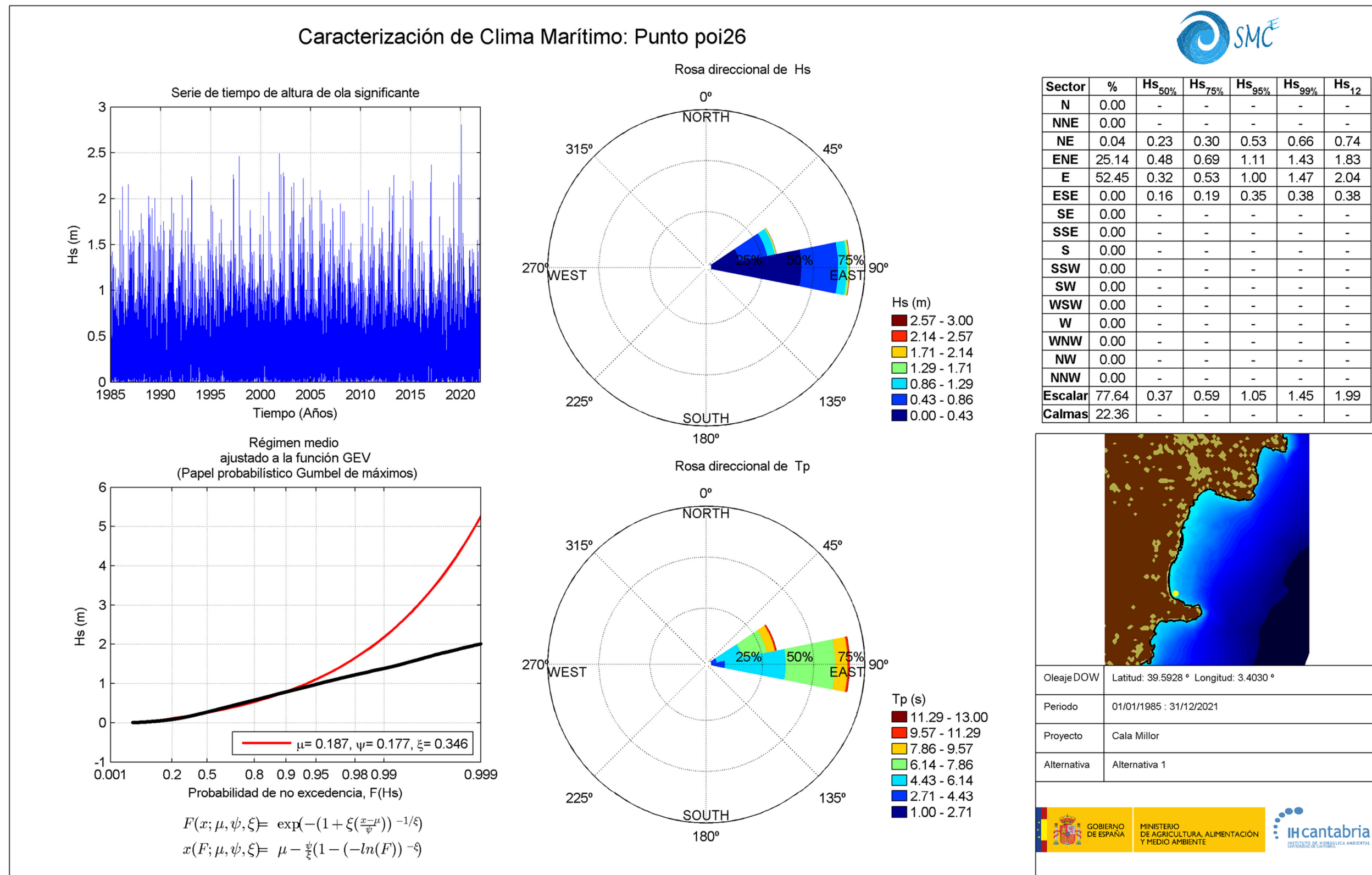
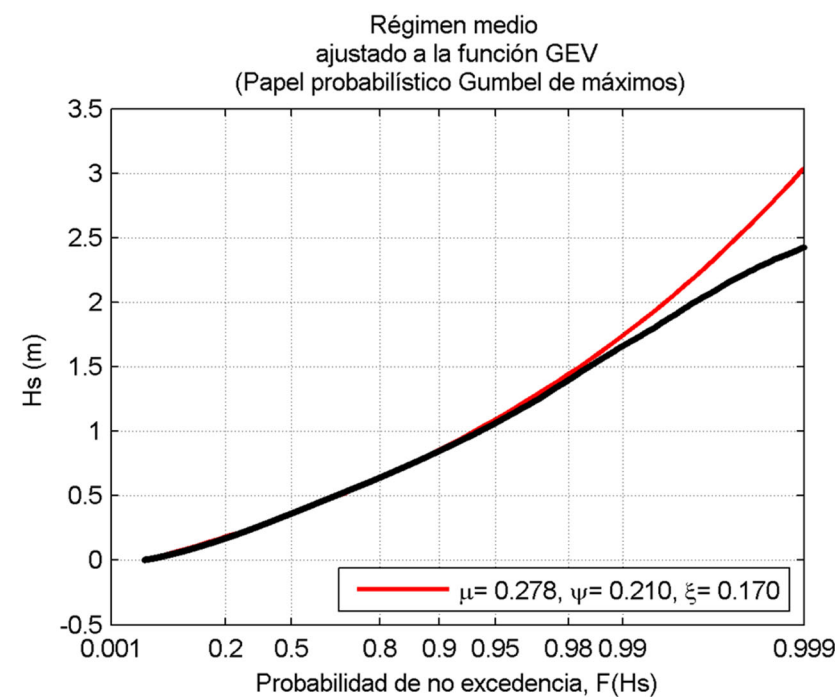
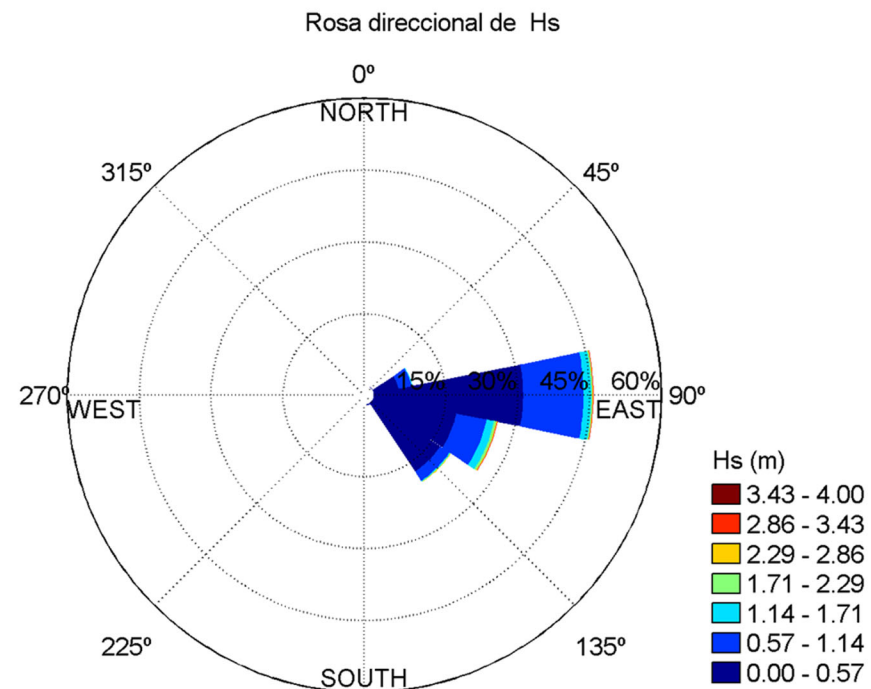
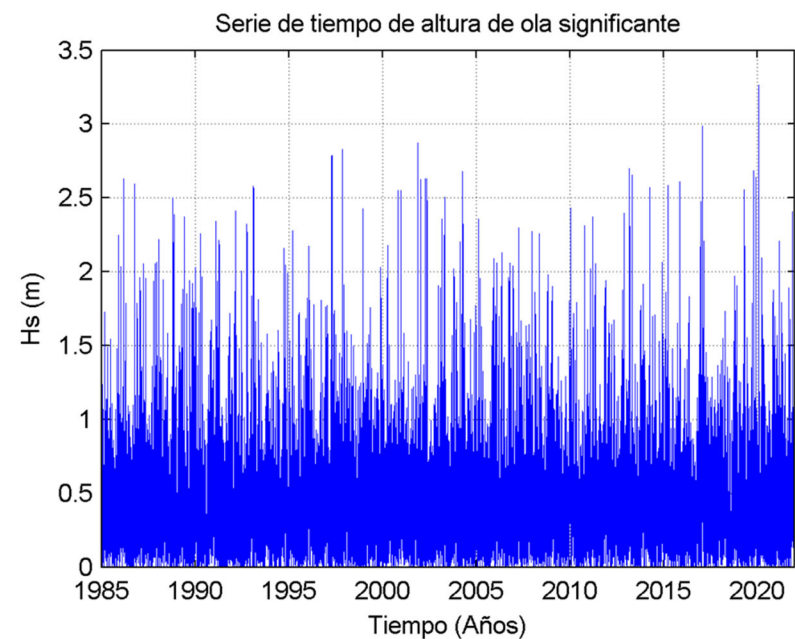


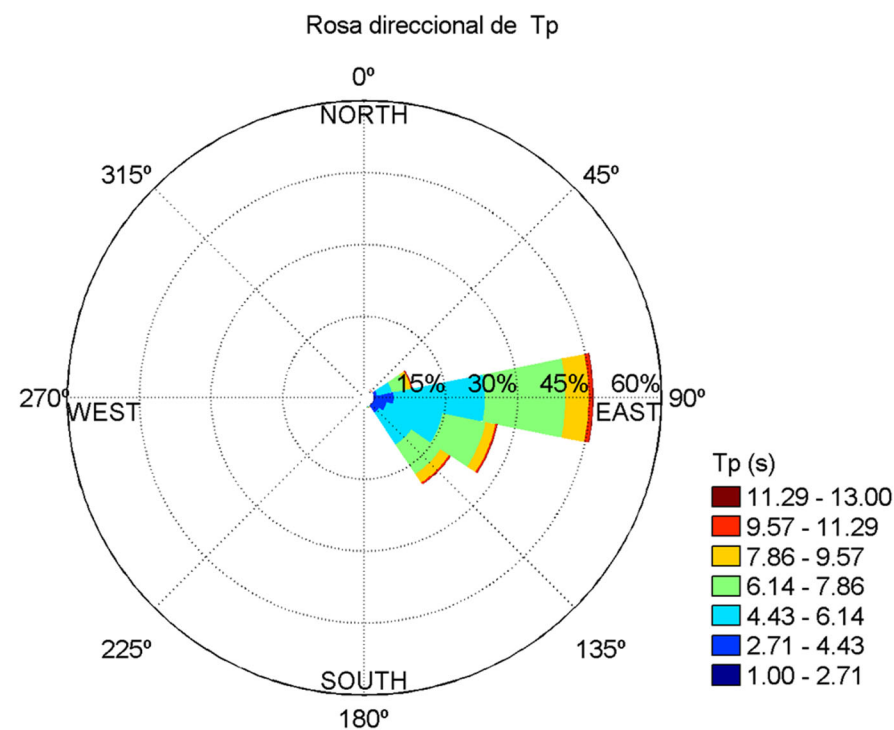
Figura 31. Caracterización del clima marítimo en el punto 26.

Caracterización de Clima Marítimo: Punto poi40

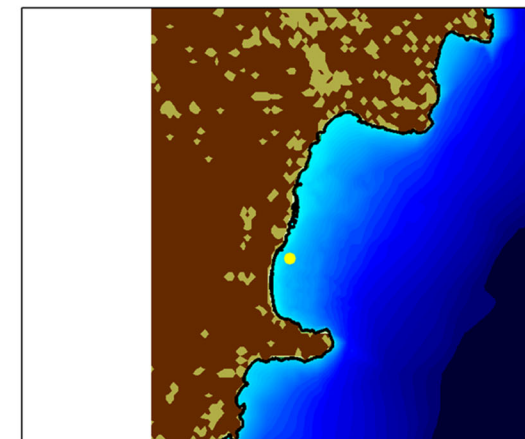


$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp\left(-\left(1 + \xi\left(\frac{x-\mu}{\psi}\right)\right)^{-1/\xi}\right)$$

$$x(F; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - (-\ln(F))^{-\xi}\right)$$



Sector	%	Hs _{50%}	Hs _{75%}	Hs _{95%}	Hs _{99%}	Hs ₁₂
N	0.00	-	-	-	-	-
NNE	0.00	-	-	-	-	-
NE	0.00	0.17	0.21	0.40	0.40	0.40
ENE	7.33	0.48	0.64	0.88	1.06	1.26
E	41.32	0.43	0.64	1.09	1.58	2.25
ESE	23.73	0.40	0.68	1.38	2.04	2.56
SE	17.80	0.31	0.45	0.78	1.24	1.87
SSE	0.22	0.40	0.44	0.50	0.62	0.68
S	0.00	-	-	-	-	-
SSW	0.00	-	-	-	-	-
SW	0.00	-	-	-	-	-
WSW	0.00	-	-	-	-	-
W	0.00	-	-	-	-	-
WNW	0.00	-	-	-	-	-
NW	0.00	-	-	-	-	-
NNW	0.00	-	-	-	-	-
Escalar	90.39	0.40	0.61	1.10	1.70	2.37
Calmas	9.61	-	-	-	-	-



Oleaje DOW	Latitud: 39.5928 ° Longitud: 3.4030 °
Periodo	01/01/1985 : 31/12/2021
Proyecto	Cala Millor
Alternativa	Alternativa 1

Figura 32. Caracterización del clima marítimo en el punto 40.

A modo de ejemplo, en la Figura 31 se muestra la caracterización estadística correspondiente al punto 26, en la zona de Cala Nau al abrigo de Punta n'Amer, y en la Figura 32 la correspondiente al punto 40, en el sector Norte de la playa, en las proximidades del muelle.

Tal y como se ha comentado anteriormente, los oleajes de componente N del punto DOW (Figura 23) al propagarse en la bahía, se refractan, haciendo que el oleaje tienda a virar hacia el E. Por este motivo, en la zona Norte de la playa (Figura 32) los oleajes del NE desaparecen y parte de los del ENE se convierten en oleajes del E, aumentando su probabilidad 41.32% respecto a la del punto DOW (20.30%).

En cuanto al punto 26, esta zona se encuentra en el área protegida por Punta n'Amer, por lo que el abanico de direcciones de oleaje se reduce al sector ENE-E (25.14% ENE y 52.45% E) y la altura media se reduce a 0.37 m.

La reconstrucción de la serie de clima marítimo en los puntos objetivo ha permitido también caracterizar la variabilidad espacial del flujo medio de energía. En la Figura 33 se muestran los flujos de energía correspondientes a los puntos objetivo de la Figura 30 y en la Tabla 1 se muestran las coordenadas de los puntos seleccionados, su profundidad, y flujo medio de energía (módulo y dirección). Como se aprecia en la figura, fuera de la bahía (punto 10 en Figura 33 y Tabla 1) y en la zona central (puntos 13, 18, 24 y 25) el flujo de energía está en torno a los 90° (Este). Mientras que, debido a la refracción del oleaje a medida que se propaga, en la zona Norte (puntos 20 y 40), la dirección del flujo de energía tiende a alcanzar los 97°-100° (ESE). En la zona Sur, debido a la difracción en Punta n'Amer, se observa que el flujo de energía tiende a orientarse hacia en ENE, en torno a los 78°-85° (puntos 31, 34, 35, 26, 27).

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)	F (J/(ms))	Dir (°N)
10	534323.77	4382591.07	16.9	2629.75	91.52
13	533717.05	4382468.78	10.93	2354.01	89.93
18	533395.58	4382843.45	8.14	2286.52	89.87
20	533386.61	4383381.46	6.5	2167.15	97.39
24	533216.24	4382951.05	4.6	1776.21	90.5
25	533225.21	4382655.15	4.44	2253.95	86.77
26	533368.68	4382224.75	6.58	1707.67	81.35
27	533243.14	4382359.25	3.75	1956.44	84.12
31	533767.81	4382048.29	9.87	1988.91	81.14
34	533924.6	4381912.41	9.74	2122.97	78.5
35	533914.15	4382048.29	11.16	2150.6	83.01
40	533516.96	4383579.56	7.5	2225.65	100.3

Tabla 1. Flujo medio de energía en los puntos objetivo seleccionados



Figura 33. Flujo medio de energía en algunos de los puntos objetivo reconstruidos para la caracterización del oleaje en la zona de estudio.

2.3. Evolución histórica y dinámica litoral

2.3.1. Sistema de corrientes

La rotura del oleaje genera una corriente, fundamentalmente paralela a la playa, que es función del ángulo con el que el oleaje aborda la costa (corrientes de incidencia oblicua) y del gradiente de altura de ola. Estas corrientes longitudinales pueden tener una gran capacidad de transportar arena, por lo que condicionan la estabilidad de la playa, y en particular, su forma en planta.

Para garantizar que una forma en planta esté en equilibrio es necesario que o bien no existan corrientes longitudinales o bien que, aun existiendo, el gradiente de transporte generado por éstas sea nulo, es decir, no haya pérdidas de arena fuera del sistema.

En el presente estudio se han caracterizado estas corrientes mediante el modelo de cálculo de corrientes asociado a la rotura del oleaje el modelo COPLA, incluido en el Sistema de Modelado Costero (SMC, González et al., 2007; Quetzalcóatl et al., 2019) desarrollado por el IHCantabria. Este modelo determina el tensor de radiación del oleaje a partir de los resultados de altura de ola e incidencia del oleaje obtenidos en la propagación, calculando el campo de corrientes y niveles, debido a dichos tensores de radiación, por medio de un modelo no-lineal que resuelve las ecuaciones integradas de Navier-Stokes. Una descripción más detallada acerca de este modelo se recoge en el [Manual de referencia del COPLA](#).

Con base en las propagaciones descritas en el apartado anterior, se obtienen con el COPLA los sistemas de corrientes inducidos por dichos oleajes, tanto para condiciones medias como para temporales.

A modo de ejemplo, se muestran los patrones de corrientes asociados a los temporales de oleaje del NE (Figura 34), E (Figura 35) y SE (Figura 36).

Tal y como se puede observar en ambas figuras, las mayores intensidades de las corrientes se encuentran en el extremo Norte (en el promontorio entre Cala Millor y Cala Bona), en la zona central de la playa, y en la zona del acantilado de Cala Nau.

Del análisis de los sistemas de corrientes asociados a los oleajes propagados para caracterizar la dinámica marina y litoral en Cala Millor se concluye que:

- Los oleajes del NE, aunque son menos frecuentes (6.5%), generan unas corrientes intensas hacia el Sur en el promontorio que separa Cala Millor y Cala Bona, que se extiende a lo largo de toda la playa que pertenece al término municipal de Son Servera (Figura 34). En ese límite, parte de la corriente se dirige hacia aguas más profundas, como consecuencia de la presencia de la barra longitudinal (Figura 37) y parte continúa pegada a la orilla hasta la zona central de la playa, donde se reduce esa corriente longitudinal y se forma una corriente de retorno que transporta la arena hacia aguas más profundas, justo en la zona en la que se produce la reducción de altura de ola como consecuencia del paleocanal (Figura 38). Entre Cala Nau y la zona central se produce una corriente pegada a la costa hacia el norte, la cual para en la zona central y se une a la corriente de retorno citada anteriormente. Cabe señalar que, debido a la presencia de las barras, además de la corriente longitudinal que se produce a

- lo largo de la línea de orilla, en algunas zonas se generan otras corrientes con el mismo sentido, salvo entre la sección central y Cala Nau, que se produce una corriente hacia el Sur.
- Los oleajes del ENE, que tienen mayor probabilidad de ocurrencia (20.3%), generan un sistema de corrientes similar a los oleajes del NE, es decir, se genera una corriente hacia el Sur hasta la zona central y una corriente hacia el Norte desde Cala Nau hasta ese sector central, donde se genera una corriente de retorno.
 - En el caso de los oleajes del Este (Figura 35), los oleajes reinantes (23.35%) y de los más energéticos, los patrones de corrientes al incidir prácticamente normal a la costa, la intensidad de las corrientes longitudinales en la orilla disminuye respecto a las correspondientes a los oleajes del NE y ENE. Sin embargo, siguen observándose fuertes corrientes en el promontorio y la salida de corrientes de retorno en aquellas zonas en las que se produce una reducción de la altura de ola como consecuencia de la refracción producida en los paleocanales (Figura 39), aunque en este caso esas salidas se producen al norte de la sección central y en el extremo norte de Cala Nau.
 - En el caso de los oleajes del ESE, oleajes reinantes (21.22%) y dominantes, los patrones de corrientes se intensifican y varían respecto a los anteriores, salvo la corriente del promontorio. En este caso se produce una corriente longitudinal de Sur a Norte en toda la playa, salvo en Platja Petita, que es hacia el Sur.
 - Del mismo modo, los oleajes del SE (probabilidad de ocurrencia del 14.54%) generan corrientes de Sur a Norte, pero en esta ocasión se invierten las corrientes en la zona de Platja Petita, donde se genera una corriente hacia Cala Bona, que puede transportar arena fuera de la playa.
 - Finalmente, los oleajes del SSE, menos intensos y menos probables que el resto (5.71%), sólo generan corrientes longitudinales superiores a 0.10 m/s en la mitad Norte, desde la zona central hasta Platja Petita. Estas corrientes longitudinales son hacia el Norte y continúan hacia Cala Bona, por lo que pueden transportar arena fuera del ámbito de estudio, aunque de menor entidad que en el caso anterior.
 - En cuanto al oleaje en condiciones medias, éstos generan un sistema de corrientes muy débil (inferiores a 0.05 m/s) debido a la escasa altura de ola que llega a la playa bajo estas condiciones, por lo que tienen poca capacidad portante.

A la vista de los resultados, la mayoría de los movimientos de arena se producen dentro de la playa, transversal y longitudinalmente. No hay corrientes de salida que transporten el sedimento de la playa hacia el Sur fuera de la bahía. Sólo durante los temporales de oleaje del SE y SSE se producen corrientes hacia el Norte que puedan transportar arena hacia Cala Bona, fuera del ámbito de estudio.

Cabe señalar que, aunque en la zona Norte se encuentra el muelle de Cala Millor, ésta es una estructura de pilotes y, por tanto, no constituye una barrera dichas corrientes hacia Cala Bona.

NE: $H_s=2.55$ m, $T_p=11.80$ s, $NM=0.27$ m

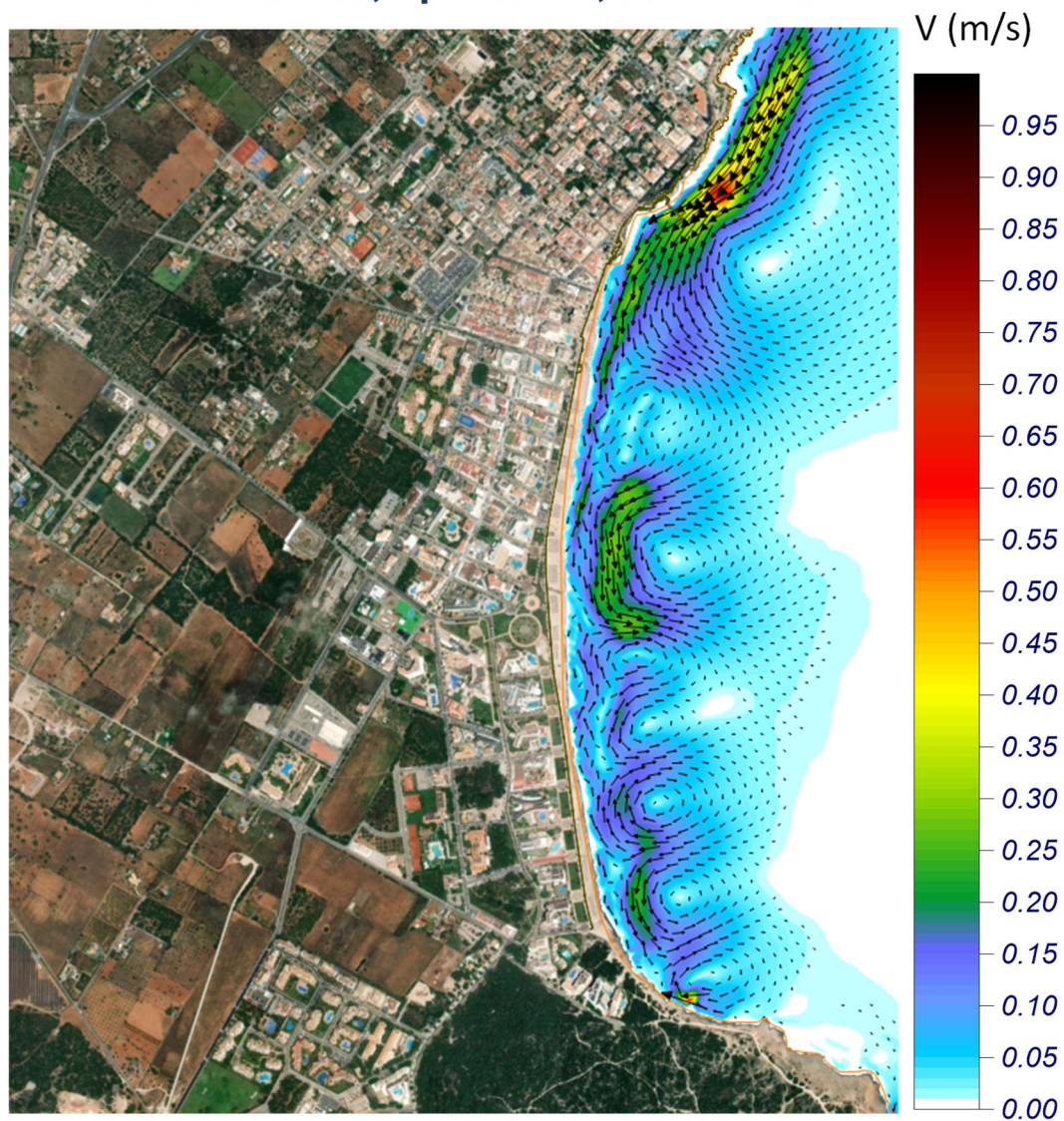


Figura 34. Mapa de corrientes asociado a un temporal del NE.

E: $H_s=2.74$ m, $T_p=9.30$ s, $NM=0.27$ m

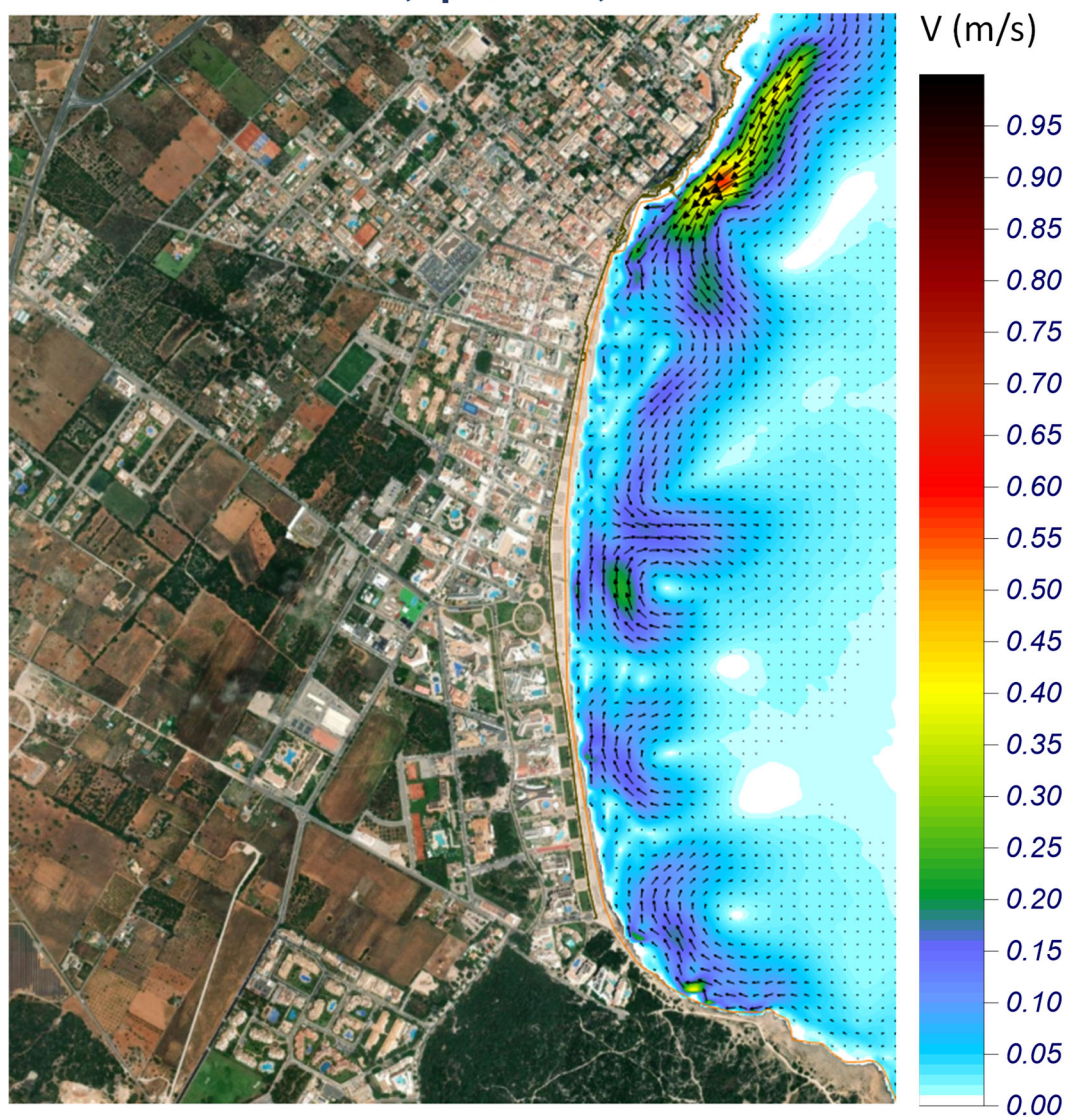


Figura 35. Mapa de corrientes asociado a un temporal del E.

SE: $H_s=2.10$ m, $T_p=8.25$ s, $NM=0.27$ m

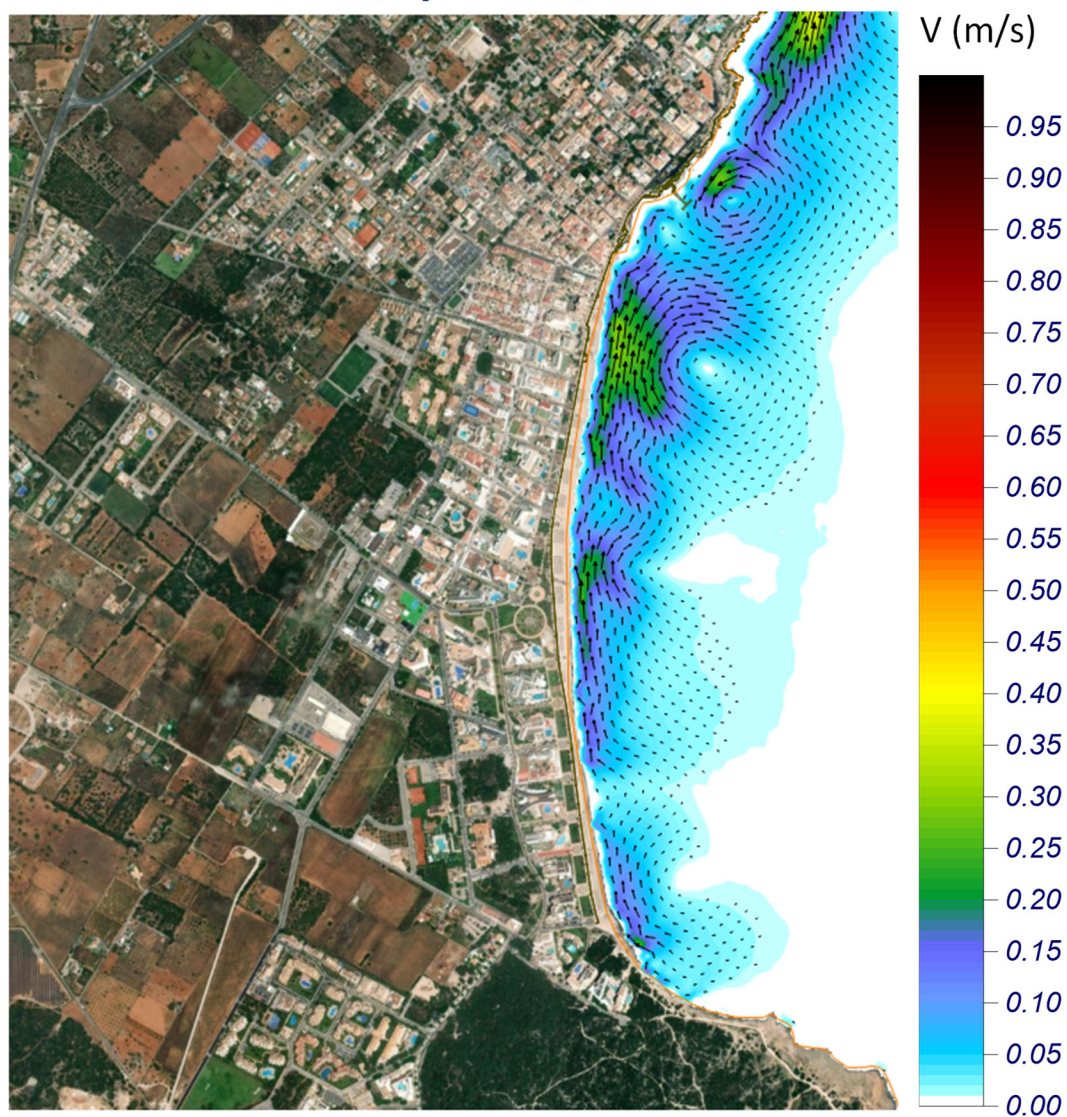


Figura 36. Mapa de corrientes asociado a un temporal del SE.

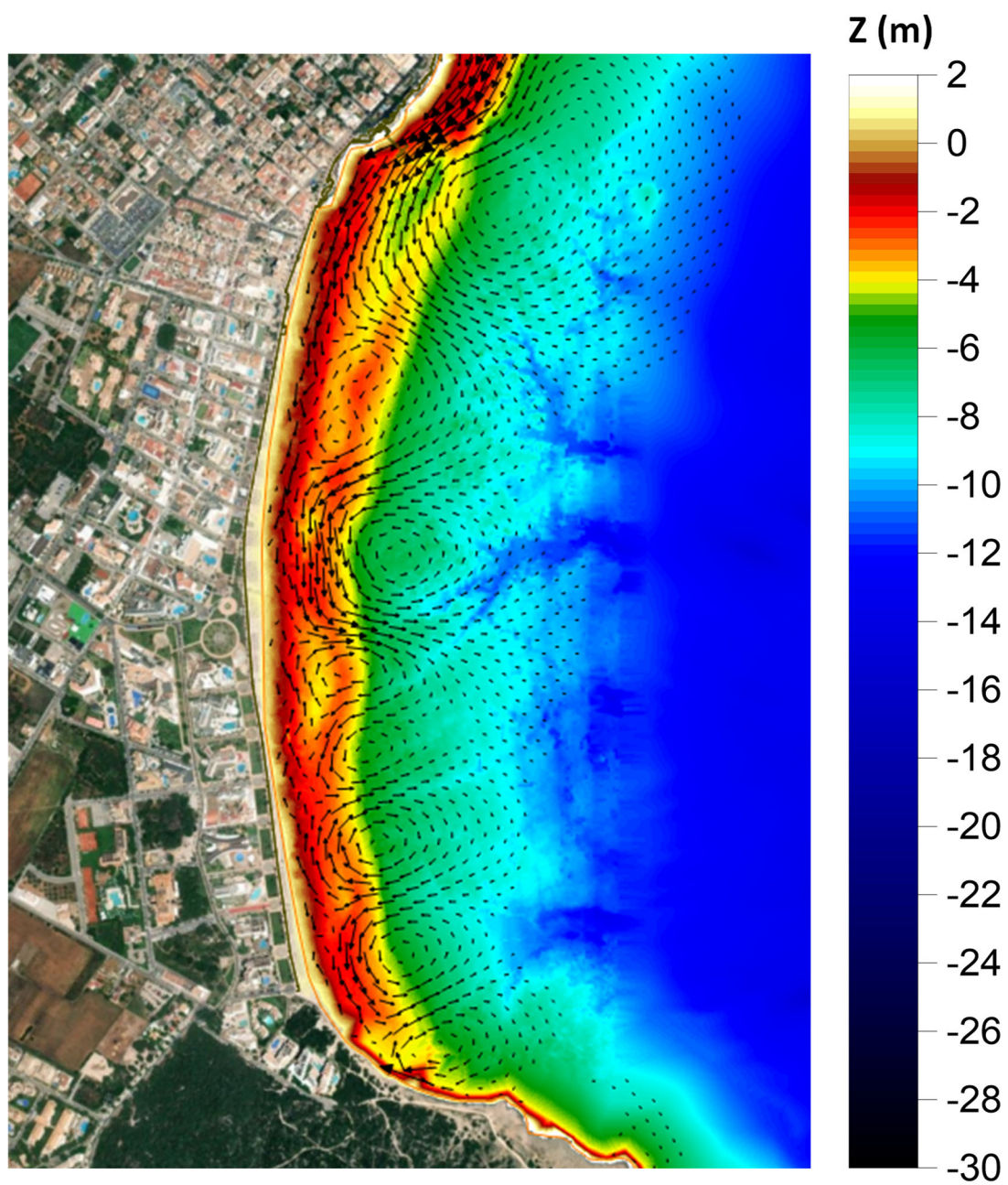


Figura 37. Topobatimetría de octubre de 2019 y sistema de corrientes durante un temporal de oleaje del NE

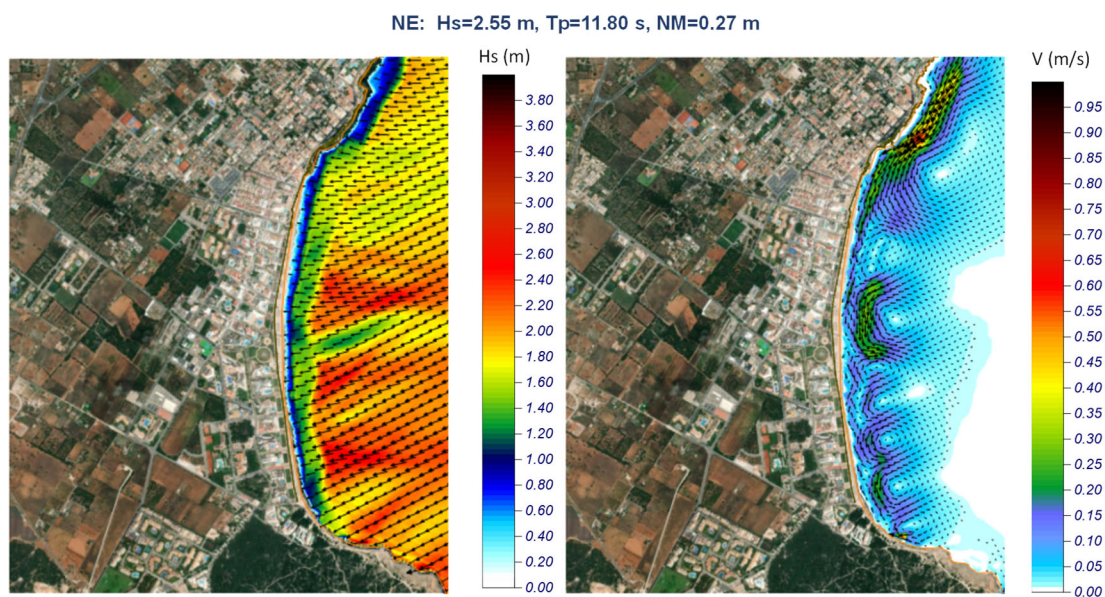


Figura 38. Altura de ola y sistema de corrientes asociados a un temporal del NE.

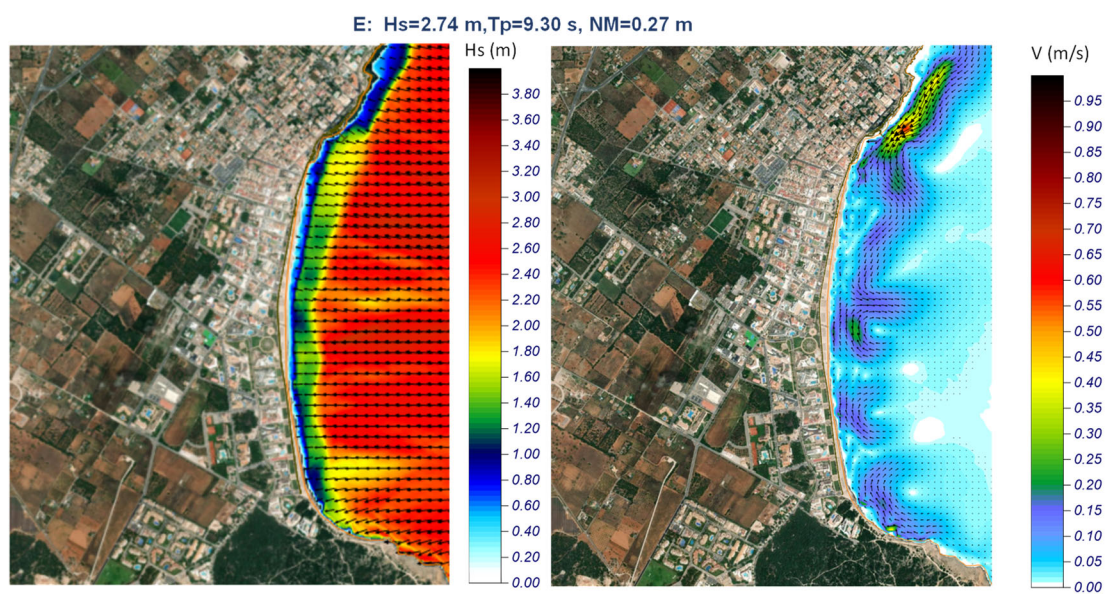


Figura 39. Altura de ola y sistema de corrientes asociados a un temporal del E.

2.3.2. Evolución histórica de la línea de costa

Cala Millor ha experimentado grandes transformaciones desde 1956 como consecuencia de la ocupación del litoral con fines residenciales y turísticos, lo cual ha repercutido en la anchura de playa seca y la capacidad de adaptación de la playa frente eventos naturales e intervenciones antrópicas.

En los años 50, la playa disponía de un extenso cordón dunar de unas 18.8 ha que abarcaba toda la playa del término municipal de Sant Llorenç des Cardassar y Son Servera, tal y como se ha observado en la evolución del sistema dunar (Figura 14).

Sin embargo, ante la demanda turística, en 1968 se llevó a cabo la construcción del paseo marítimo, para lo cual se dismanteló prácticamente todo el sistema dunar (véase la imagen de 1974 en la Figura 14), quedando solamente una superficie de unas 5 ha y alterando el equilibrio natural del sistema playa-duna (Figura 40).

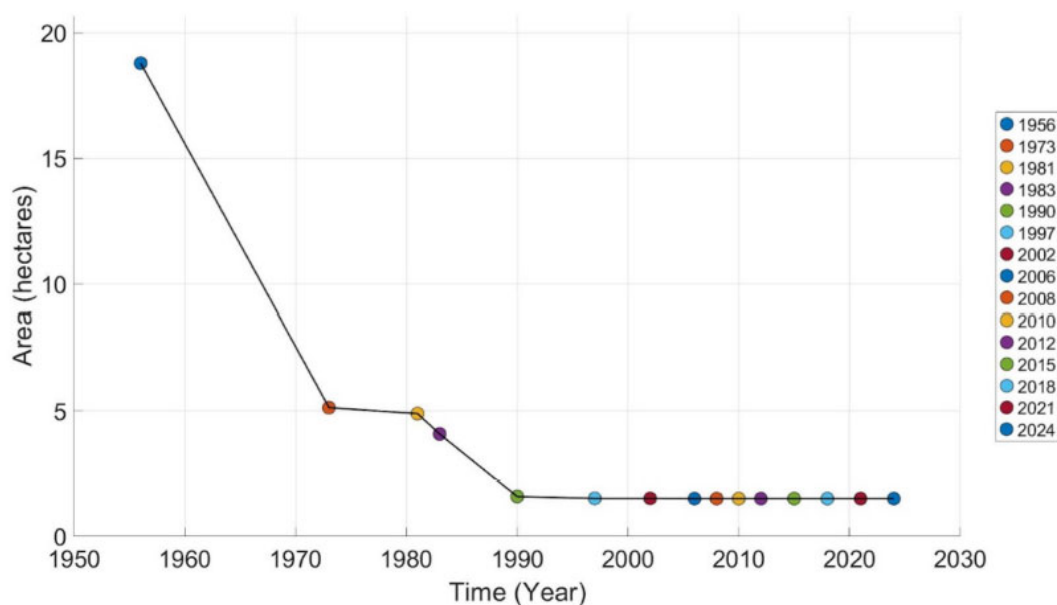


Figura 40. Área ocupada por el sistema dunar en Cala Millor entre 1950 y 2024: Fuente imagen: Fernández-Mora, A. et al. (2025).

Entre 1981 y 1990 el cordón dunar experimentó otra pérdida importante de área, quedando sólo 1.6 ha.

El análisis de las imágenes de las últimas décadas, realizado por Fernández-Mora, A. et al. (2025) con base en ortofotos históricas, ha revelado que entre 1997 y 2024 el área ocupada por el sistema dunar ha permanecido estable, en torno a 1.5 ha.

Esta reducción drástica del cordón dunar redujo la capacidad natural de la playa para hacer frente a los temporales de oleaje, lo que derivó en una pérdida gradual del ancho de playa seca a pesar del aporte inicial de la playa tras la destrucción de las dunas (véase periodo 1968-1981 en Figura 41).

Dada la importancia de disponer de una playa suficientemente ancha para la protección de la costa y el sector turístico, entre 1990 y 2002 se llevaron a cabo varias

regeneraciones de playa (unos 58.000 m³ según la información disponible, véase Tabla 2). De este modo, en 2004 se consiguió disponer de una playa seca con una anchura medida de unos 40 m (Figura 41), que se ha conseguido mantener hasta 2010.

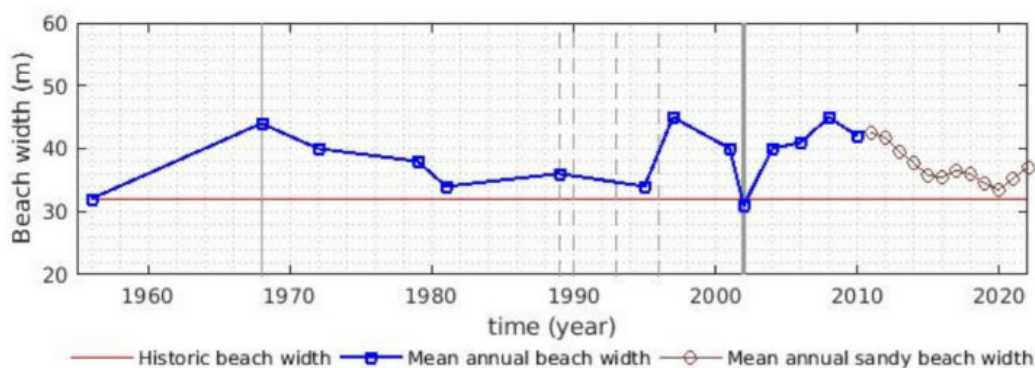


Figura 41. Variación media del ancho de playa. Las líneas grises discontinuas representan las aportaciones de menos entidad de la Tabla 2. La línea continua gris fina señala el desmantelamiento de la duna durante los años 60. La línea continua gris gruesa indica la regeneración llevada a cabo en 2002. Fuente imagen: Fernàndez-Mora, A. et al. (2025).

Cala Millor reported sand nourishments	
Year	Volume (m ³)
1968	?; but Promenade construction and dismantling of the dune ridge of >65,400 m ²
1989	?
1990	8,000
1993	5,400
1996	4,759
2002	> 40,000
Total	> 58,149

Tabla 2. Regeneraciones llevadas a cabo en Cala Millor conforme a la Dirección General de la Costa y el Mar (cf. Tintoré et al., 2009)

Para el análisis de la evolución histórica de la línea de costa más reciente, en este estudio se han empleado las líneas de costa derivadas de las imágenes obtenidas mediante el sistema de monitorización costera CLM SIRENA, que constituye el elemento clave de la infraestructura de monitorización de playas gestionado por SOCIB.

El objetivo de esta infraestructura es obtener una base de datos de alta resolución, continua y extensa en el tiempo (desde 2011 hasta la actualidad) con la que contribuir a la caracterización y gestión del litoral, especialmente en el ámbito de las Islas Baleares.

Esta infraestructura se compone de 5 videocámaras de monitorización que abarcan prácticamente la totalidad de la playa (Figura 42).

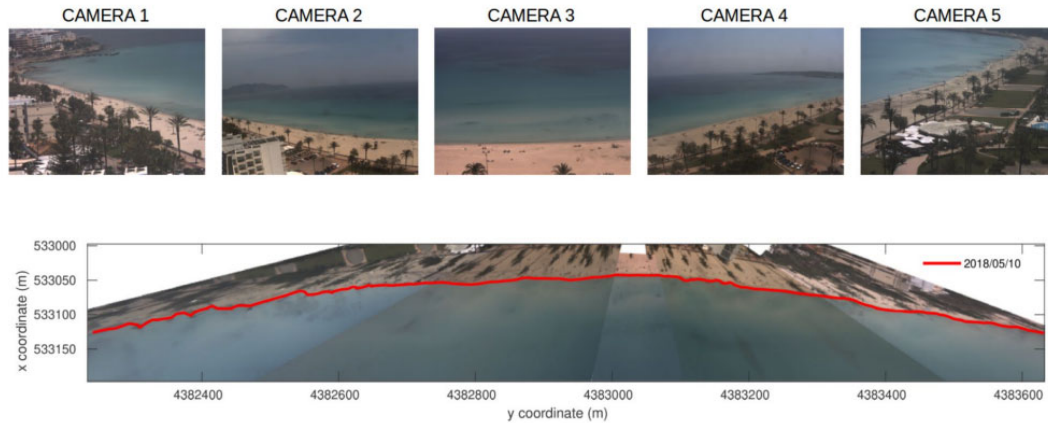


Figura 42. Capturas de las 5 cámaras del sistema CLM Sirena (arriba) y línea de costa del 10 de mayo de 2018 identificada (abajo). Fuente imagen: Fernández-Mora et al. (2023).

A modo de ejemplo, en la Figura 43 se muestran algunas líneas de costa obtenidas a partir de imágenes tomadas por el sistema CLM Sirena durante el mes de junio en el periodo 2011-2020.

En la última década, la anchura media de playa ha presentado una variabilidad, con unos años una playa seca más ancha que otros, pero con una tendencia a retroceder, como se observa en el periodo 2011-2024 en la Figura 41. Sin embargo, la playa sigue teniendo la anchura media del orden de la existente en 1956 (unos 30 m).

No obstante, la anchura de playa presenta también una gran variabilidad espacial a lo largo de la playa, como se muestra a continuación.

En la Figura 44 se muestra un mapa con la tasa media de variación de la posición de la línea de costa con base en los resultados obtenidos en 31 perfiles distribuidos a lo largo de la playa. Los valores de tasa media anual negativos (amarillo a marrón) indican que en esos perfiles experimentan un retroceso medio de la línea de costa; mientras que los positivos (azules) indican un avance de la línea de costa en el periodo de análisis (2011-2020). En gris con línea discontinua se representan los perfiles en los que la tasa estimada no es significativa.

En la Figura 45 se muestra un mapa que muestra el movimiento neto de la posición de la línea de costa en el periodo 2011-2020, es decir, la diferencia de posición de la línea de costa en esos dos años para cada uno de los perfiles seleccionados. En este caso, los valores negativos (amarillo a verde) representan un retroceso de la línea de costa de 2020 respecto a 2011, mientras que los positivos (azules) indican un avance.

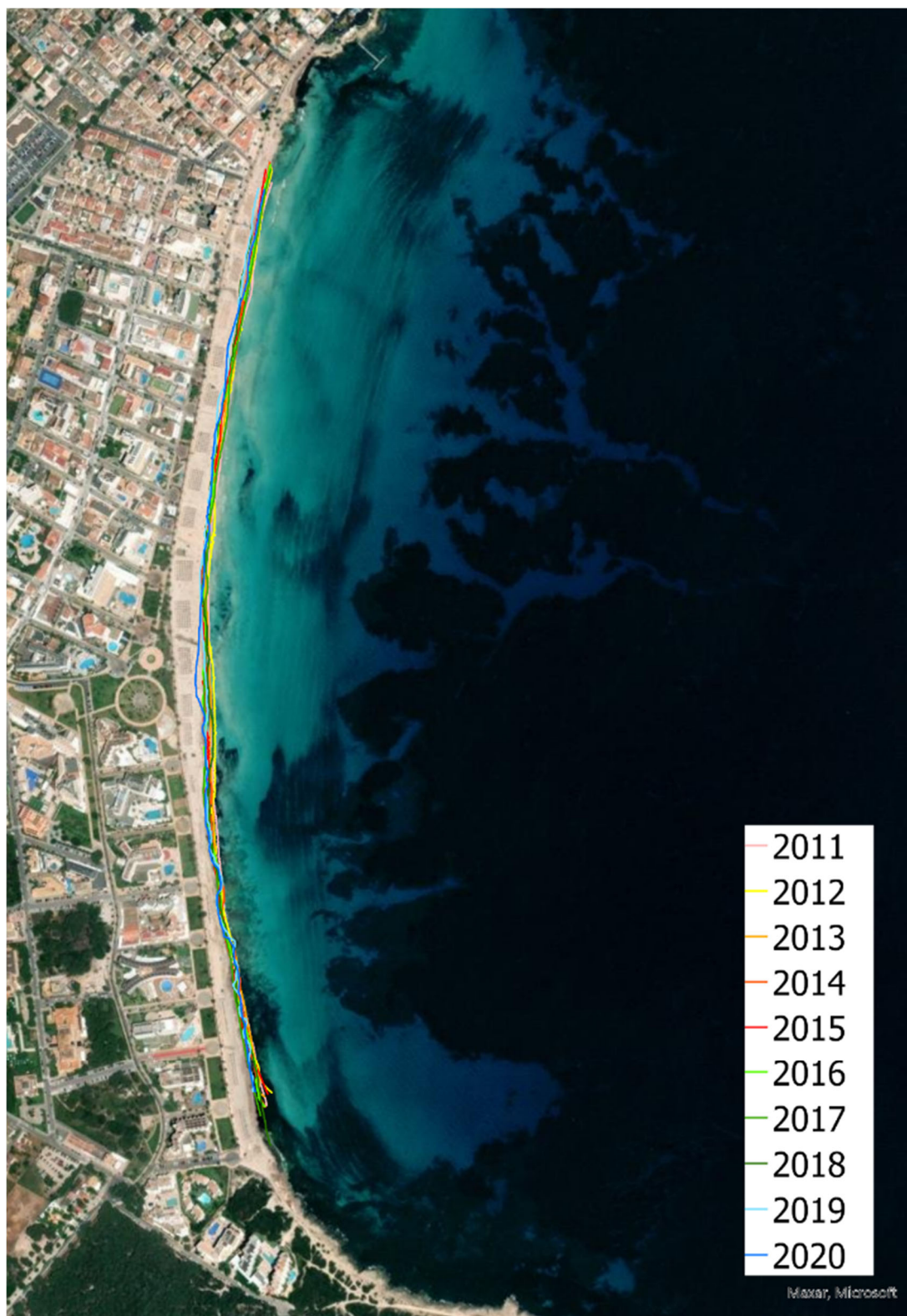


Figura 43. Evolución de la línea de costa del mes de junio en el periodo 2011-2020.

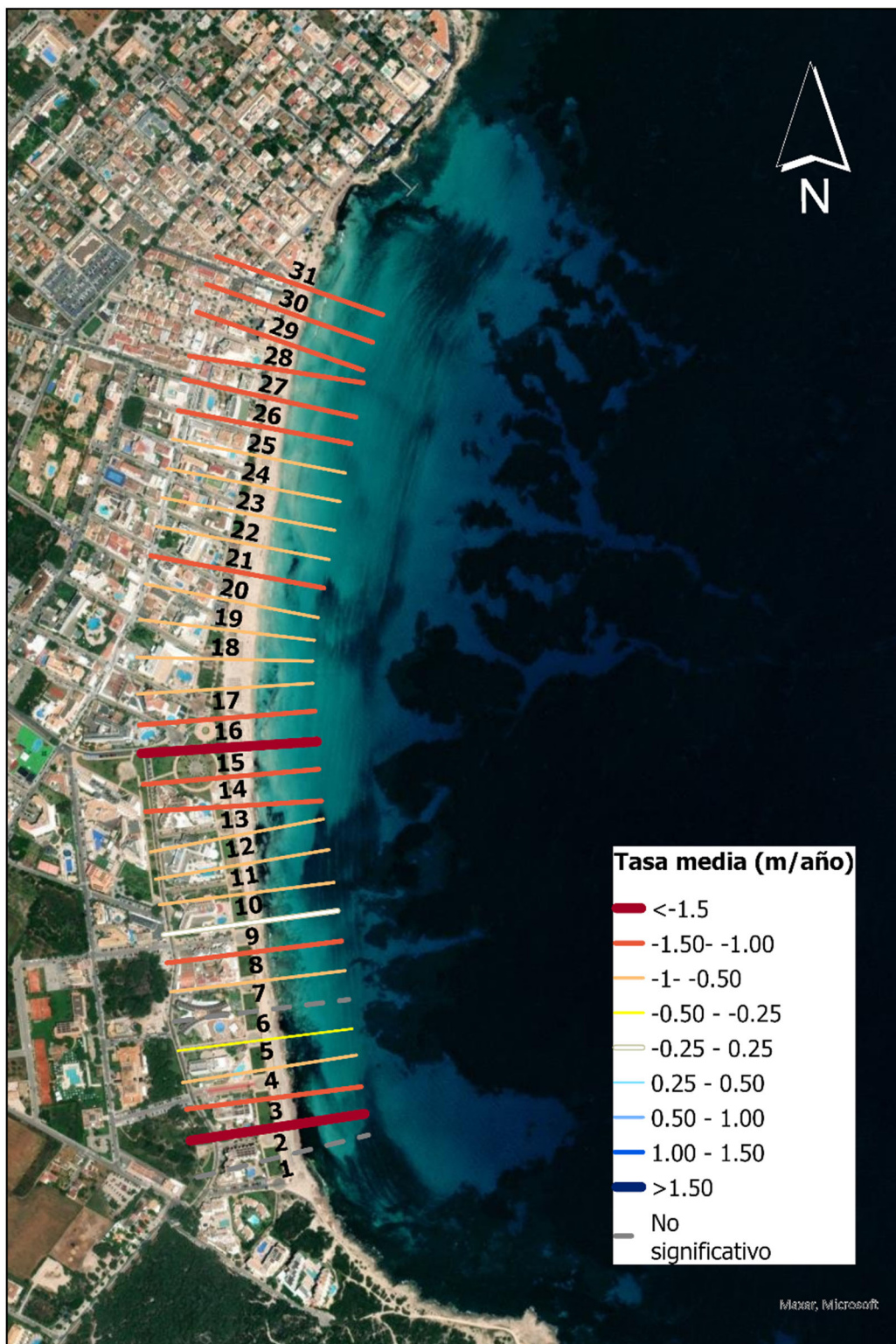


Figura 44. Mapa de tasas de variación de la posición de la línea de costa (periodo 2011-2020).

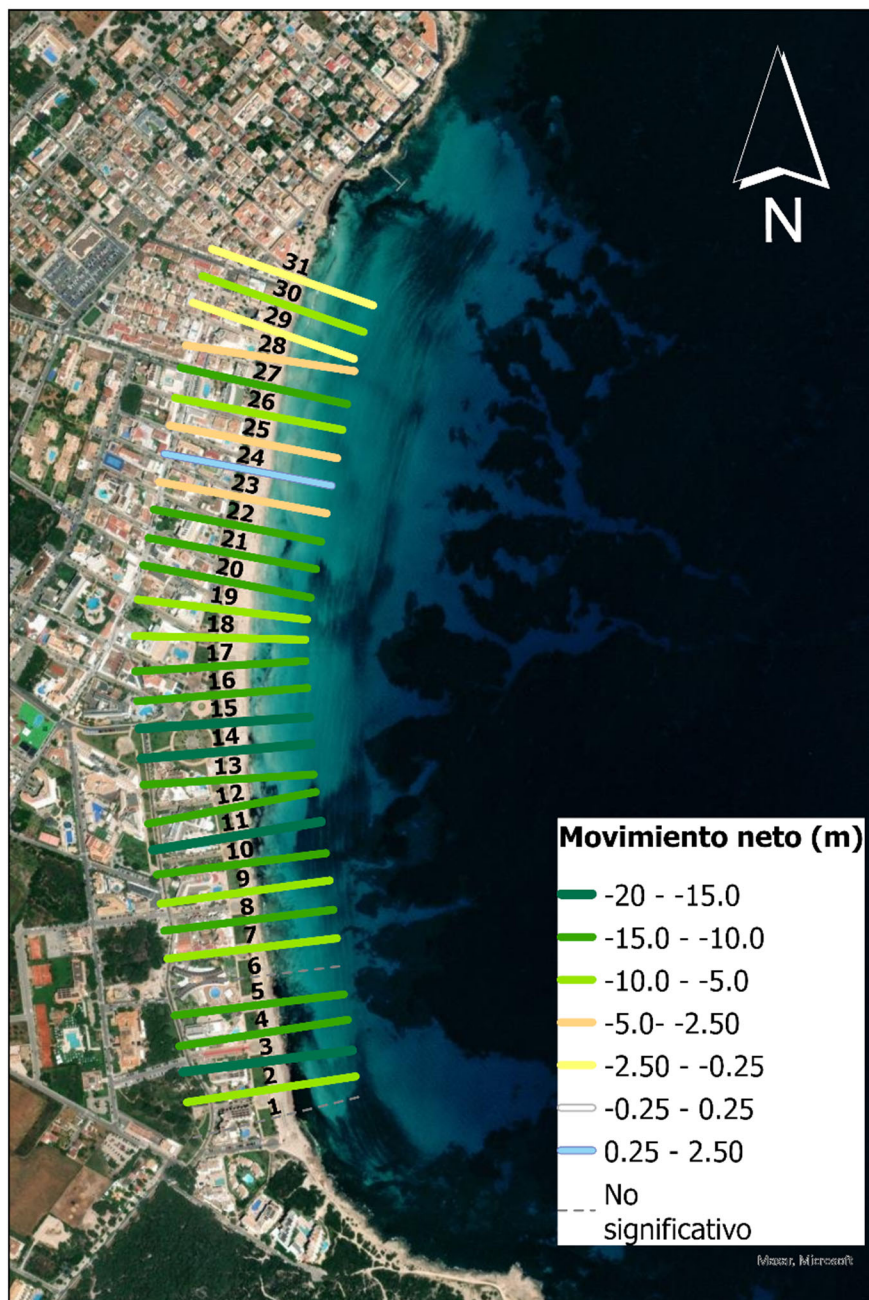


Figura 45. Mapa de movimiento neto de la línea de costa (periodo 2011-2020).

En la Figura 46 se muestra la evolución temporal de la anchura de playa en varios transectos representativos de la playa (2, 9, 15 y 24). En esta figura, en las imágenes de la izquierda, se ha representado la evolución temporal de la anchura de playa y su ajuste mediante regresión lineal para conocer su tendencia. En cambio, en los gráficos de la derecha, se ha representado el valor medio de la tasa de variación de la posición de la costa y su intervalo de confianza del 95%. En este último gráfico, los valores negativos representan un retroceso de la línea de costa.

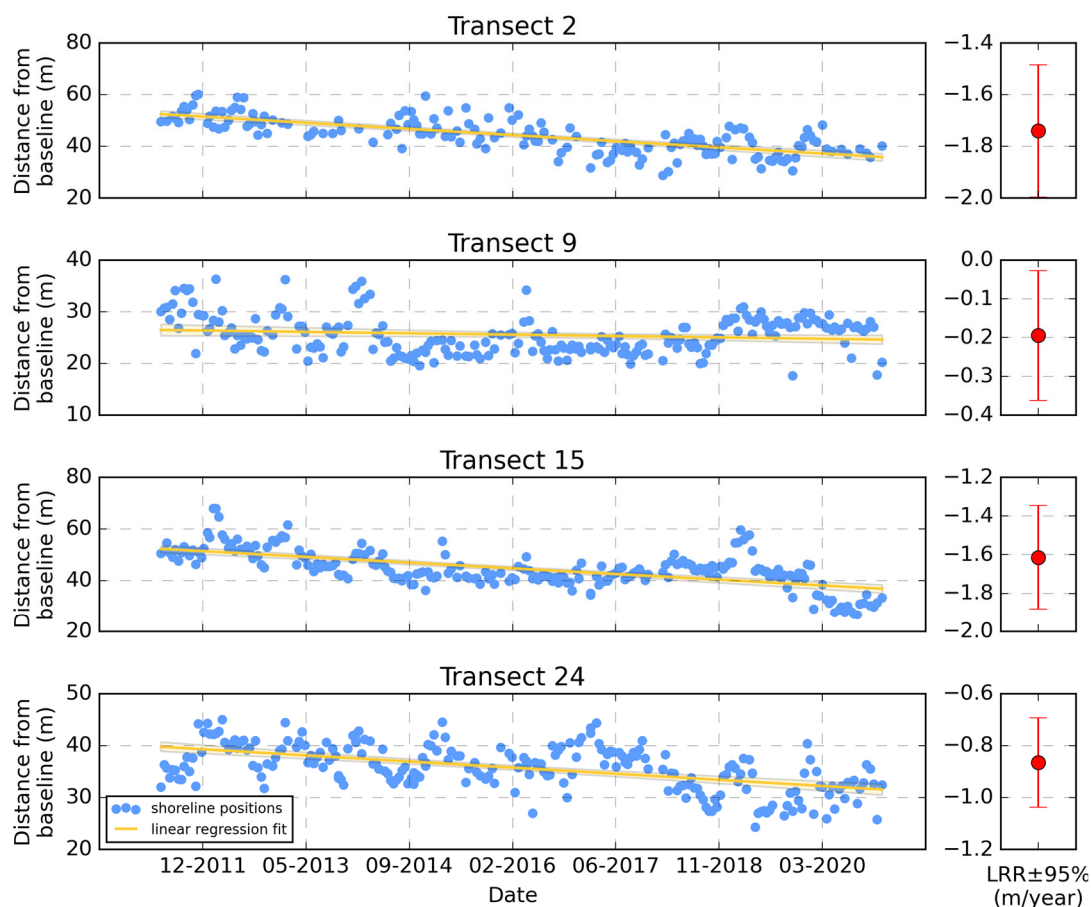


Figura 46. Evolución temporal de la anchura de playa de los transectos de playa 2, 9, 15 y 24.

Aunque el movimiento neto de la línea de costa en el periodo de estudio sea un avance en el año 2020 respecto a 2011, como en el transecto 24 en la Figura 45, en todos los perfiles se observa que la playa tiende a retroceder (Figura 44 y Figura 46), salvo en los perfiles 1 y 6, donde la tendencia no es significativa.

Los mayores retrocesos, se observan en la zona de s'Estanyol d'en Roig (transecto 15 en Figura 44), donde la anchura de playa ha presentado una gran variabilidad desde 2011 (entre 25 y 70 m), con una tasa media de retroceso del orden de 1.6 m/año. No obstante, en la actualidad, esta zona sigue siendo la que tiene mayor anchura de playa seca con un valor superior a 30 m (Figura 48 A).

También se observa un gran retroceso medio anual (1.74 m/año) y neto al Norte de Cala Nau (transecto 2 en Figura 44 y Figura 45 respectivamente) y en esta zona suelen aparecer afloramientos rocosos, como al Sur de la zona central entre las calles Flamenc y Rosella (Figura 47). En este último tramo la playa varía entre 10 y 20 m (Figura 48 A), aproximadamente con una tasa de retroceso de unos 0.75-1 m/año (transectos 8, 10, 11 y 12 en Figura 48 B), por lo que es una zona crítica desde el punto de vista de erosión.



Figura 47. Afloramientos rocosos frente a carrer Rosella (septiembre 2024).

La zona más crítica se encuentra en la sección al Norte de la playa, dado que la anchura de playa es inferior a 20 m e incluso a 10 m (desde carrer de Binicanella hacia el Norte, Figura 48 A) y, además, la tasa de retroceso varía entre 1 y 1.30 m/año (Figura 48 B).

Con el fin de conocer cómo ha variado la línea de costa y cuál ha sido la distribución del sedimento en los últimos años a lo largo de la playa, en la etapa anterior del proyecto (Fernández-Mora, A. et al., 2025) se ha analizado el balance sedimentario del periodo 2011-2022 con base en las campañas topobatimétricas que realiza el SOCIB dentro de su programa de monitorización de la playa (Fernández-Mora et al., 2023).

A modo de ejemplo, en la Figura 49 B se muestra el balance sedimentario en el periodo 2011-2022 obtenido como la diferencia de las topobatimetrías de mayo de 2011 y de junio de 2022 del SOCIB. En este gráfico el mapa de colores representa el balance sedimentario de ese periodo, en colores azules se representan las zonas en las que se ha producido erosión y, en amarillo-rojo donde se ha acumulado arena. En líneas discontinuas gris claro y gris oscuro se han representado las batimetrías de cota 0 y -5 m respectivamente de la batimetría de mayo de 2011; mientras que las líneas continuas rosa claro y magenta son las correspondientes a esas mismas cotas en la batimetría de junio de 2022.

Como se observa en la figura, los mayores retrocesos de la línea de costa en el periodo 2011-2022 se han producido en la sección central (entre 20-30 m aproximadamente), en la zona Sur (unos 25 m) y en la zona Norte (en torno a los 20 m), lo cual coincide con las zonas en las que se han observado los mayores retrocesos en el análisis de las líneas de costa (Figura 48 A).

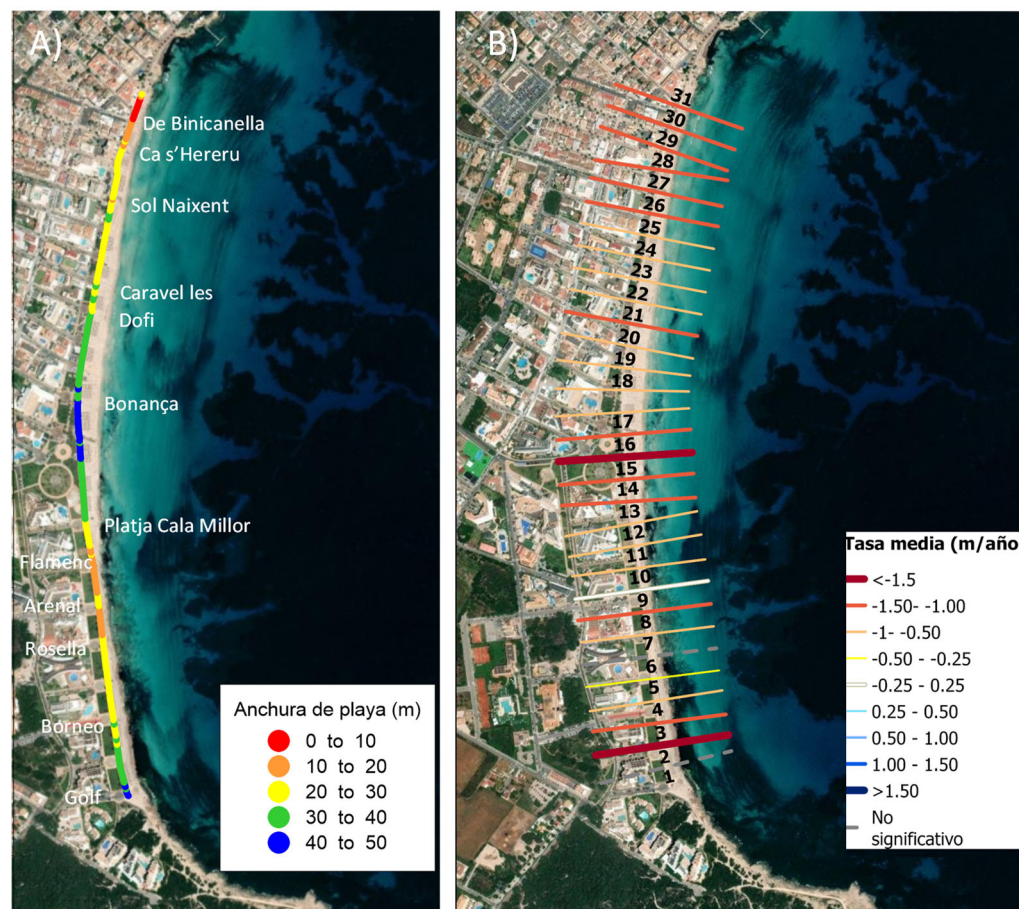


Figura 48. A) Mapa de anchura de playa seca actual (2024). B) Mapa de tasa de variación de la posición de la línea de costa (periodo 2011-2020).

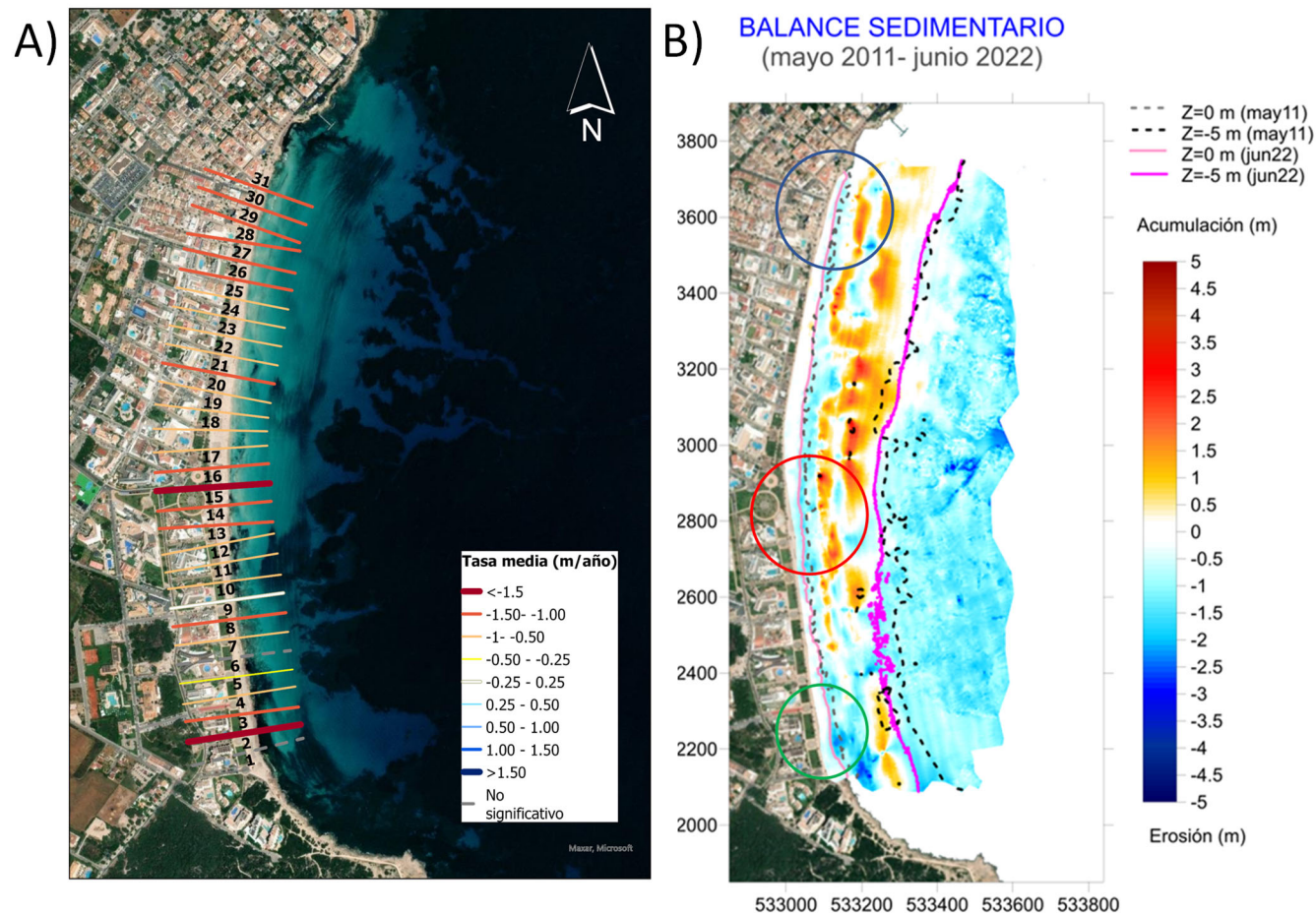


Figura 49. Mapa de tasas de variación de la posición de la línea de costa (A) y balance sedimentario en el periodo 2011-2020 (B).

En cuanto a la distribución del sedimento, tal y como se puede observar en el estudio detallado realizado por Fernàndez-Mora, A. et al. (2025), éste presenta una gran variabilidad, dado que, en función de las dinámicas, el sedimento sube a las cotas altas del perfil (periodos de calma) o se transporta transversalmente hacia aguas más profundas (durante los temporales) y se dirige hacia un lado u otro de la playa en función de las características y dirección del oleaje en cada momento. En esta distribución del sedimento también juega un papel importante las barras, que modifican los patrones de corrientes, tal y como se ha comentado en el apartado anterior.

Aunque el balance sedimentario depende de la zona seleccionada y el periodo analizado, tal y como se observa la Tabla 3 (Fernàndez-Mora, A. et al., 2025).

A modo de ejemplo, si se analiza la playa completa (*full beach* en la tabla), se observa que el balance global pueda variar de un año a otro, con pérdidas de, por ejemplo, -36 000 m³ en 2020-2021 y ganancias de 52 000 m³ en 2021-2022.

No obstante, el balance global en periodos multianuales (varios años) es una pérdida neta de arena: -94 000 m³ en el periodo 2017-2022 y unos 53 000 m³ en el periodo 2011-2022 analizado en la Figura 48 B.

	Dry Zone Z ≥ 0 m	Surf Zone -4 ≤ Z < 0 m	Shoaling Zone -6 ≤ Z < -4 m	Outer Zone Z < -6 m	Full beach
2012-2011	-4,000 (-0.07)	97,000 (0.44)	-97,000 (-0.65)	-180,000 (-0.79)	-183,000 (0.28)
2013-2012	-4,000 (-0.07)	-14,000 (-0.06)	9,000 (0.07)	-25,000 (-0.11)	-34,000 (-0.05)
2014-2013	-6,000 (-0.10)	-28,000 (-0.10)	12,000 (0.12)	-25,000 (-0.10)	-46,000 (0.07)
2015-2014	10,000 (0.16)	-23,000 (-0.09)	-7,000 (-0.07)	-45,000 (-0.18)	-65,000 (-0.10)
2016-2015 ³	2,000 (0.03)	-2,000 (-0.00)	—	—	~0.0 (~0.00)
2017-2016 ⁴	-3,000 (-0.05)	40,000 (0.16)	—	—	37,000 (0.11)
2019-2017 ⁵	-8,000 (-0.07)	-21,000 (-0.07)	-23,000 (-0.23)	-53,000 (-0.23)	-105,000 (-0.15)
2020-2019	10,000 (0.08)	-51,000 (-0.19)	25,000 (0.20)	11,000 (0.05)	-5,000 (~0.00)
2021-2020	2,000 (0.03)	37,000 (0.15)	-51,000 (-0.36)	-24,000 (-0.11)	-36,000 (-0.06)
2022-2021	-3,000 (-0.07)	34,000 (0.13)	4,000 (0.03)	17,000 (0.07)	52,000 (0.08)
2022-2017 ⁶	-5,000 (-0.15)	-19,000 (-0.08)	-30,000 (-0.30)	-40,000 (-0.24)	-94,000 (-0.14)

³ Sediment balance is analyzed only considering the dry beach and the inner-surf zone, since 2016 topo bathymetries is truncated at 5 m depth.

⁴ Sediment balance is analyzed only considering the dry beach and the inner-surf zone, since 2016 topo bathymetries is truncated at 5 m depth.

⁵ Note that this is a two-years sediment balance (2017-2018 and 2018-2019), since no data is available for 2018.

⁶ Overall changes are computed for the period 2017-2022.

Tabla 3. Variación interanual del balance sedimentario (m³) en distintas zonas de la playa de Cala Millor. Los datos entre paréntesis representan el balance unitario expresado en m³/m².

Fuente tabla: (Fernàndez-Mora, A. et al., 2025).

Tal y como comentan Fernàndez-Mora, A. et al. (2025), no es posible determinar con certeza el déficit global de sedimentos ni su localización debido a las limitaciones de los levantamientos topobatimétricos (no abarcan el mismo área ni toda la unidad sedimentaria), pero dado que hay años en los que el balance sedimentario es positivo, que no hay corrientes que transporten el sedimento fuera de la bahía en el extremo Sur, es razonable pensar que gran parte del sedimento que sale de la zona monitorizada no se pierde, sino que permanece en la bahía en regiones adyacentes, ya sea cerca de Punta de n'Amer o frente a Cala Bona.

Cabe señalar que la hipótesis de la pérdida de arena hacia Cala Bona es compatible con las corrientes asociadas a los temporales del SE y SSE, como se comentado en el apartado anterior, y también con los testimonios de algunas personas que conocen la zona que indican que ha aparecido una acumulación de arena al norte del ámbito de estudio hacia Cala Bona. Esta hipótesis se ha intentado comprobar con la comparación de ortofotos históricas, pero no se ha logrado confirmar ese fenómeno, será necesario realizar alguna campaña u aplicar otra metodología para hacerlo.

La naturaleza del fondo marino en la zona de Cala Bona es rocosa, según la información disponible en el visor del Instituto Español de Oceanografía (Figura 50). Por lo que, de confirmarse que al ámbito de estudio existe arena, ésta debería proceder de Cala Millor.

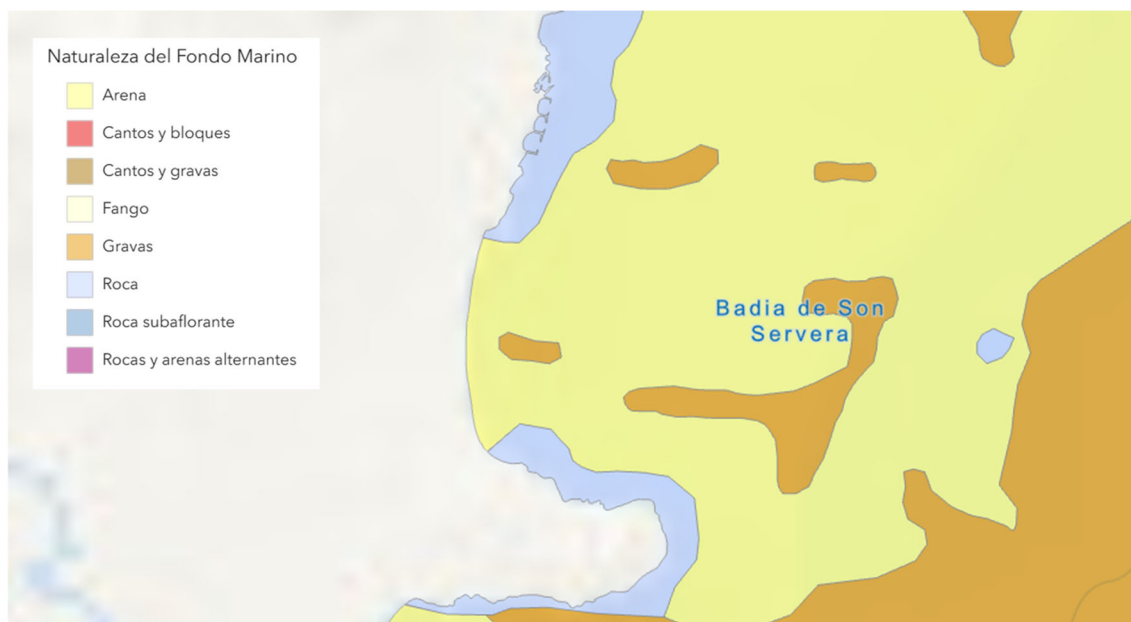


Figura 50. Naturaleza del fondo marino. Imagen generada con base en la información disponible en el [visor del Instituto Español de Oceanografía](#).

2.4. Modelo de funcionamiento

El ámbito estudio está caracterizado por una dinámica litoral compleja en la que intervienen múltiples factores como variabilidad del oleaje, la granulometría, la existencia de barras, la pradera de posidonia y los paleocanales existentes.

A partir del análisis de la dinámica marina y litoral realizado en los apartados anteriores, en la presente sección se propone un modelo de funcionamiento de la playa de Cala Millor.

El ámbito de estudio se encuentra en la bahía de Son Servera, delimitada por Cap des Pinar en el Norte y Punta de n'Amer en el Sur, siendo principalmente las direcciones del NE al SSE las que llegan a la zona de interés.

En función de la dirección y magnitud del oleaje incidente, se genera un sistema de corrientes particular en playa de Cala Millor que explica el movimiento del sedimento en la zona de estudio, que es lo que se conoce como modelo de funcionamiento.

Considerando el análisis del patrón de corrientes por direcciones del apartado anterior, se ilustran a continuación unos esquemas aproximados del modelo de funcionamiento de la zona de estudio, como respuesta a la energía incidente tras la propagación de los oleajes NE (Figura 51), E (Figura 52), ESE (Figura 53) y SE (Figura 54).

En estos esquemas, en las zonas donde se intensifican las corrientes es donde su capacidad portante aumenta y donde se produce erosión; mientras que en las zonas en las que disminuya su intensidad, es donde se deposita el sedimento. Este modelo de funcionamiento es cierto siempre que en el fondo exista sedimento, es decir, cuando la corriente se origine en una zona con únicamente sustrato rocoso, como en la zona del acantilado y en Cala Bola (Figura 50), habrá un flujo de agua hacia la playa, pero no un transporte de arena.

En la Figura 51 se observa que el oleaje del NNE se difracta en Cap des Pinar en el Norte de la bahía y continúa refractándose sobre la pradera de *Posidonia oceanica*, la cual ejerce cierta fricción reduciendo la energía del oleaje, para finalmente alcanzar playa de Cala Millor, generando una corriente longitudinal hacia el S pegada a la orilla hasta la zona central de la playa (s'Estanyol d'en Roig), donde se reduce la corriente longitudinal en la orilla y se produce una corriente de retorno hacia aguas más profundas. Desde carrer Rosella hasta s'Estanyol d'en Roig se genera una corriente longitudinal hacia el Norte, donde se une a la corriente de retorno anterior. Al Sur de la zona central, se genera una corriente desde Borneo hacia Rosella que termina en una corriente transversal frente a Rosella, que se une a la corriente longitudinal generada en el borde exterior de la barra existente en esa área. En cuanto a la zona Sur, frente a Borneo se genera una corriente de entrada que se bifurca en dos corrientes longitudinales, una hacia el Norte y otra hacia el Sur, generando un patrón de corrientes en las proximidades de la costa que permite la acumulación de arena en ese sector, como se muestra en la Figura 55. Por último, en el extremo Sur, también se genera una corriente longitudinal a lo largo del acantilado, pero dicha corriente no transporta arena hacia la playa, porque en esa zona el fondo es rocoso, como se puede observar en la Figura 50. Este modelo de funcionamiento es similar al que se genera durante los temporales del ENE.

Los oleajes del Este (Figura 52), los reinantes y de los más energéticos, inciden directamente en playa de Cala Millor, con apenas reducción de energía, salvo en las zonas afectadas por los paleocanales (frente a s'Estanyol d'en Roig y en Cala Nau). Al ser una incidencia prácticamente normal a la costa, la intensidad de las corrientes longitudinales en la orilla disminuye. Sólo aparecen corrientes intensas en esa zona en el tramo central, entre carrer Rosella y Flamenc, frente a carrer Golf y al Sur de Cala Nau, que tienden a transportar el sedimento hacia el Norte. No obstante, también se producen corrientes longitudinales alejadas de la orilla como consecuencia de la existencia de las barras, que acaban transformándose en una corriente transversal que depositan la arena que pudiesen transportar en aguas más profundas frente a Bonança, Flamenc y Borneo.

NE: $H_s=2.55$ m, $T_p=11.80$ s, $NM=0.27$ m

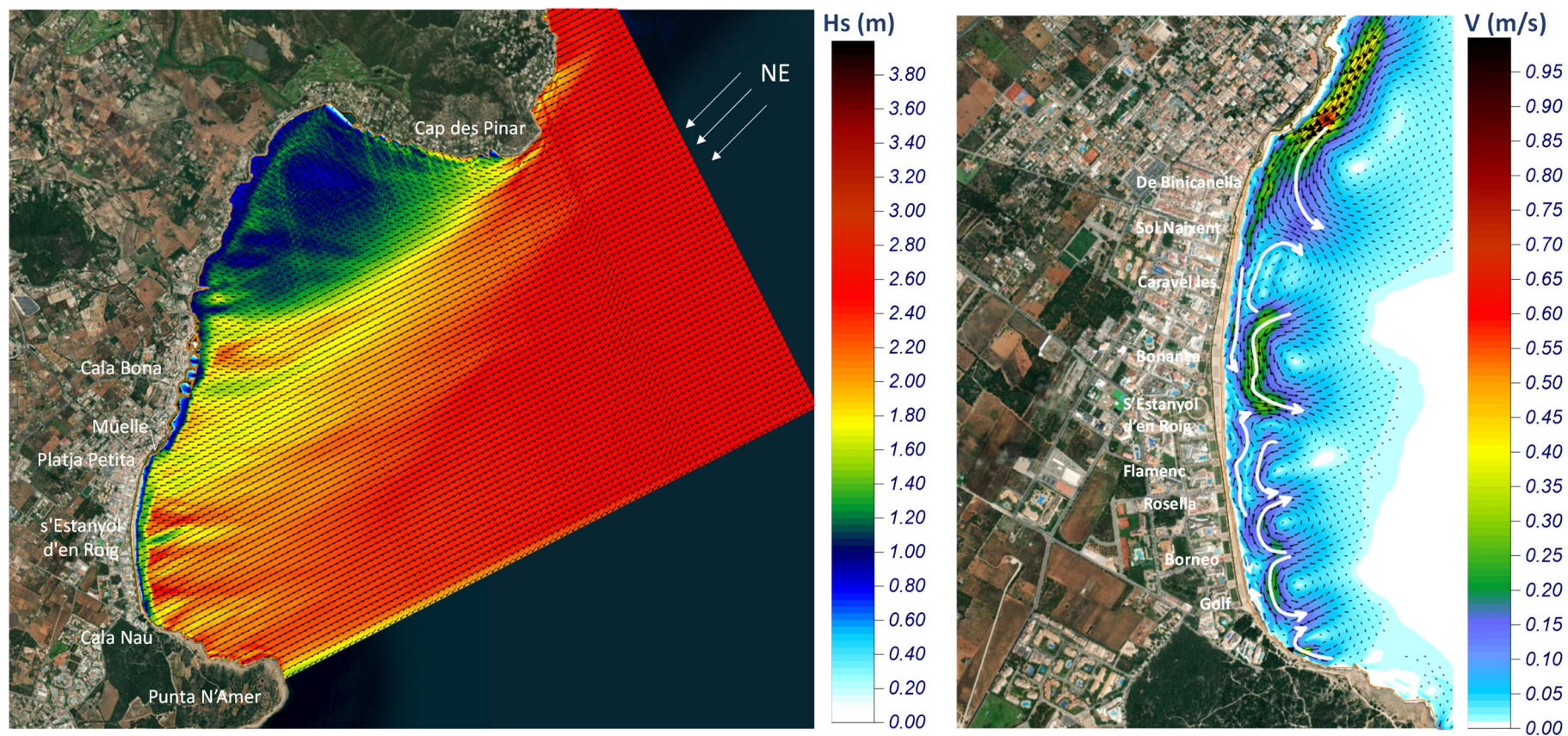


Figura 51. Modelo de funcionamiento asociado a un temporal del NE: mapa de H_s y dirección (izquierda), mapa de corrientes (derecha).

E: $H_s=2.74$ m, $T_p=9.30$ s, $NM=0.27$ m

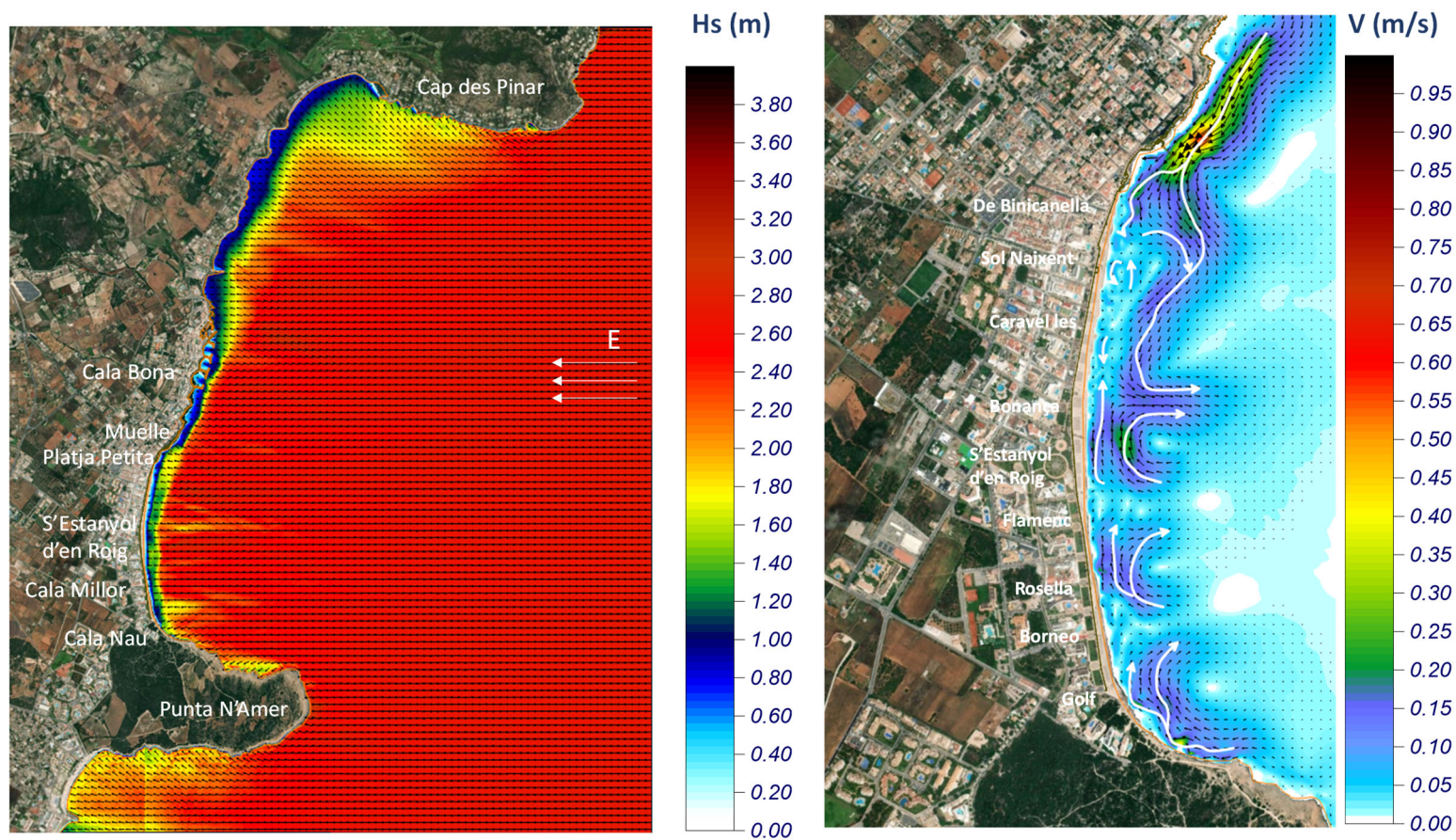


Figura 52. Modelo de funcionamiento asociado a un temporal del E: mapa de H_s y dirección (izquierda), mapa de corrientes (derecha).

ESE: $H_s=3.10$ m, $T_p=9.25$ s, $NM=0.27$ m

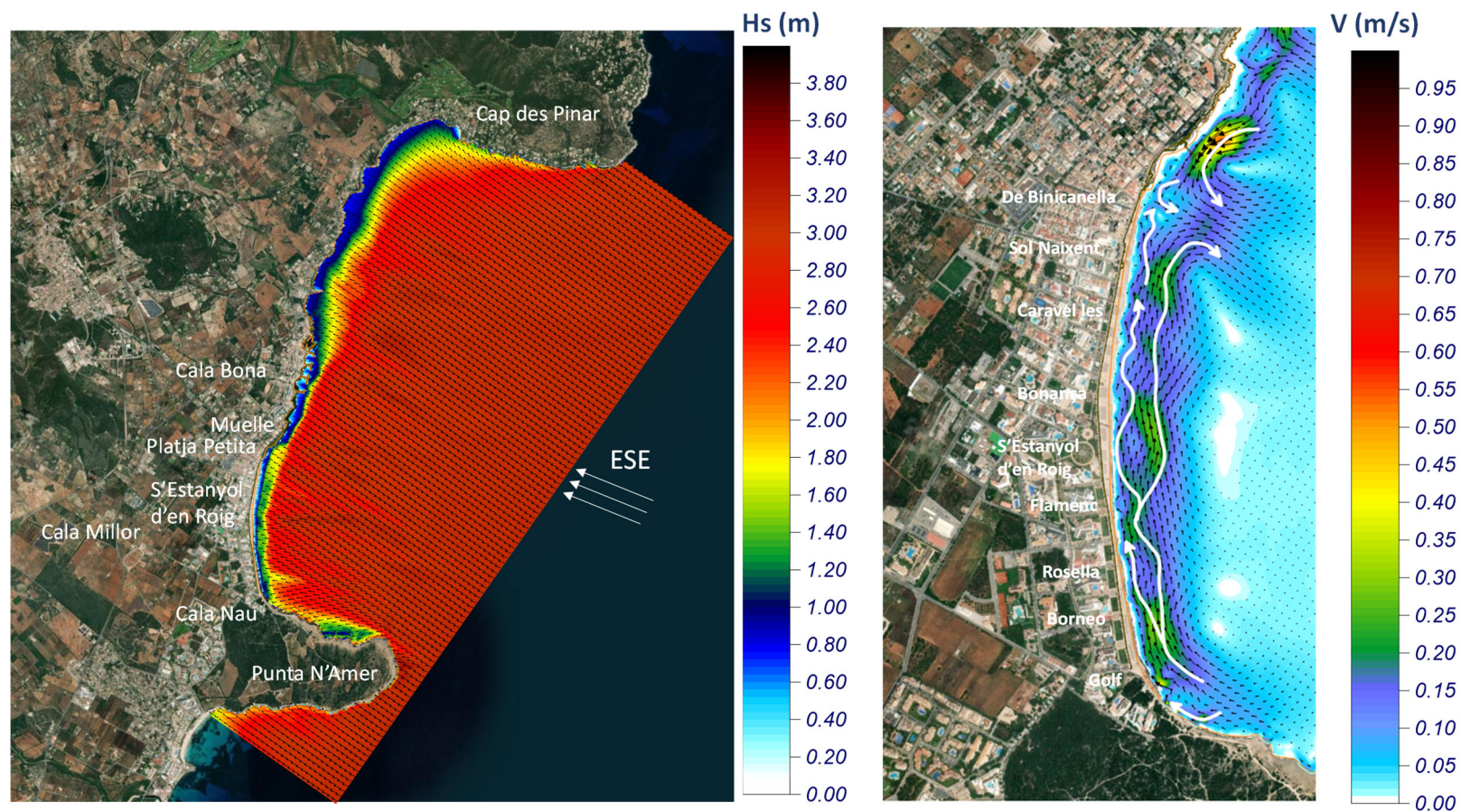


Figura 53. Modelo de funcionamiento asociado a un temporal del ESE: mapa de H_s y direcci3n (izquierda), mapa de corrientes (derecha).

SE: $H_s=2.10$ m, $T_p=8.25$ s, $NM=0.27$ m

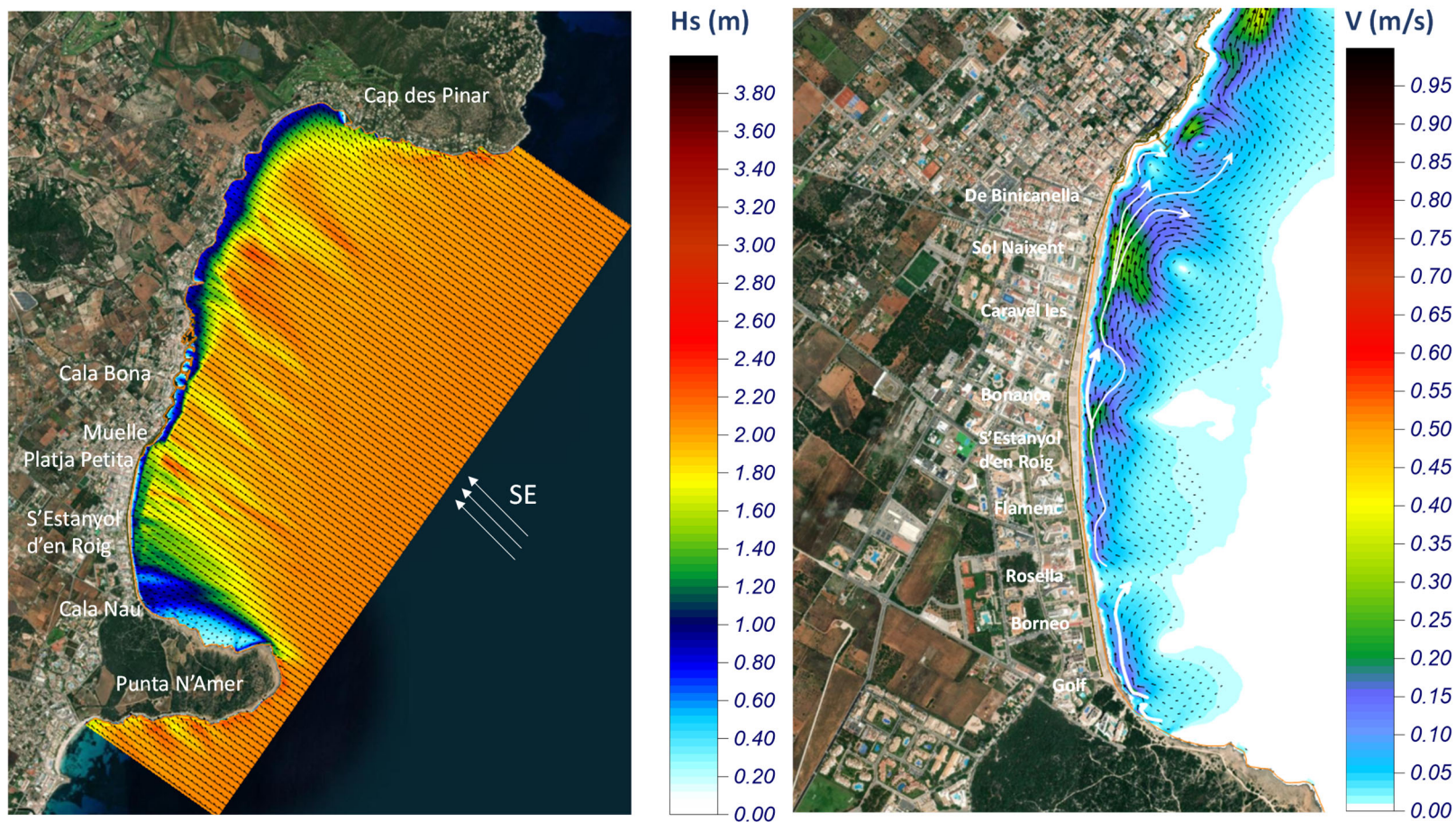


Figura 54. Modelo de funcionamiento asociado a un temporal del SE: mapa de H_s y dirección (izquierda), mapa de corrientes (derecha).

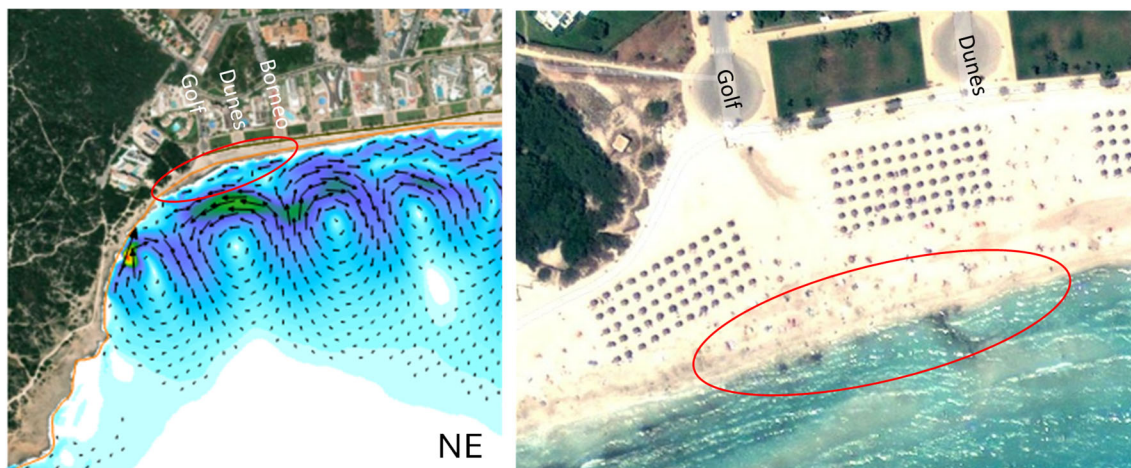


Figura 55. Patrón de corrientes del NE que permite la acumulación de arena en Cala Nau.

Respecto a los oleajes dominantes y reinantes del ESE (Figura 53), al tener mayor incidencia que los oleajes del Este, ya se generan corrientes más intensas y uniformes. Se produce una corriente longitudinal de Sur a Norte en toda la playa, salvo en Platja Petita, que es hacia el Sur.

Estas corrientes son especialmente energéticas en la zona de Cala Nau, entre carrer Golf y Borneu, donde se erosiona la playa seca reduciéndose su anchura y quedando al descubierto el sustrato rocoso, como se muestra en la Figura 56.

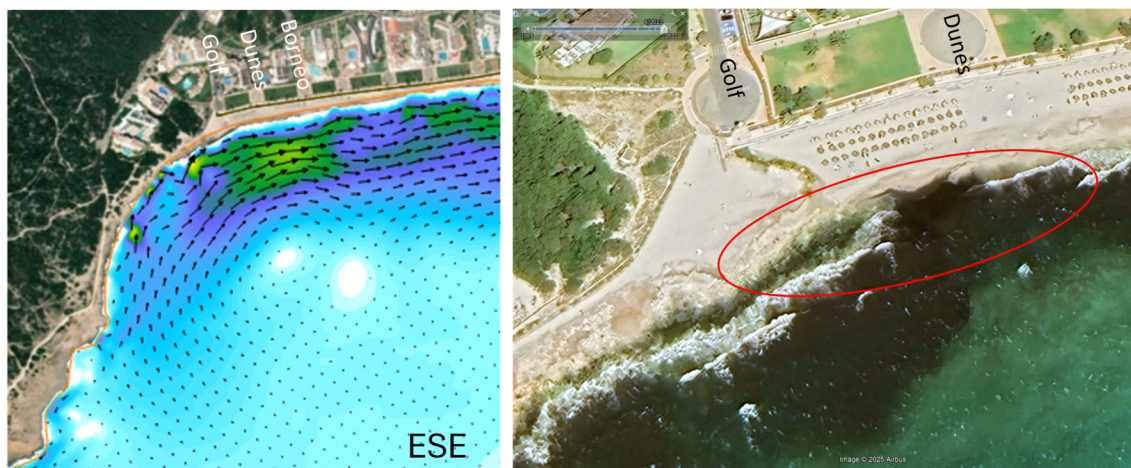


Figura 56. Patrón de corrientes del NE que permite la acumulación de arena en Cala Nau.

También se forman corrientes intensas en torno a carrer Flamenc y s'Estanyol d'en Roig, que erosionan las primeras cotas del perfil de playa.

Frente a carrer de Binicanella, las corrientes longitudinales de la zona se transforman en corrientes de retorno que transportan el sedimento que pudiesen acarrear hacia aguas más profundas.

En la Figura 54 se muestra el esquema asociado al modelo de funcionamiento asociado a los oleajes del SE, cuya propagación en el área de interés y el patrón de corrientes que se genera está ligado a la difracción del oleaje en Punta de n'Amer, cuyo efecto se ve reflejado en casi toda la playa. Estos oleajes dan una corriente de Sur a Norte a lo largo de prácticamente toda la playa Cala Millor, con una zona de reducción de corrientes frente a carrer Rosella, donde también se produce una corriente transversal hacia aguas más profundas, permitiendo depositar parte de su carga portante en las inmediaciones de la costa en aguas más profundas. La zona Norte, entre Carre de Binicanella y Platja Petita, es la más compleja, dado que, por un lado, se reduce parte de la corriente longitudinal que recorre la playa, depositando parte de la carga en el perfil sumergido de Platja Petita. Por otro lado, se produce una corriente de retorno que transporta el sedimento hacia cotas más bajas del perfil y, además se genera una corriente que continua hacia Cala Bona, la cual puede transportar parte del sedimento fuera del ámbito de estudio.

Por último, los oleajes del SSE, que son menos probables y energéticos que el resto, sólo generan corrientes longitudinales superiores a 0.10 m/s en la mitad Norte, desde la zona central hasta Platja Petita. Estas corrientes longitudinales son hacia el Norte y continúan hacia Cala Bona, por lo que pueden transportar arena fuera del ámbito de estudio, aunque de menor entidad que las del SE.

En cuanto al oleaje en condiciones medias, éstos generan un sistema de corrientes muy débil (inferiores a 0.05 m/s) debido a la escasa altura de ola que llega a la playa bajo estas condiciones, por lo que tienen poca capacidad portante.

Cabe señalar que durante el periodo de invierno los oleajes son más energéticos que en verano, con lo cual, es en invierno cuando se dan lugar los cambios morfológicos más representativos en Cala Millor a causa de fuertes corrientes que arrastran el material sedimentario. Durante la época de verano, los transportes son más transversales

3. Cala Millor en el contexto del cambio climático

En el capítulo anterior se han descrito el clima marítimo y la evolución histórica de Cala Millor en las últimas décadas. Sin embargo, actualmente estamos viviendo una época marcada por un calentamiento global inducido por la acción humana, cuyos impactos en los sistemas naturales y socioeconómicos se manifiestan a nivel mundial con un amplio rango de evidencias (inundaciones, erosión, pérdida de biodiversidad...).

Como consecuencia de este calentamiento global, el nivel medio del mar a escala mundial está aumentando, y en los últimos decenios ese aumento ha experimentado una aceleración que obedece a la pérdida de hielo de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida (IPCC, 2019), así como a la pérdida constante de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano. Por otro lado, los aumentos de los vientos y las precipitaciones, así como los incrementos de las olas extremas como consecuencia del cambio climático, combinados con el aumento del nivel del mar relativo han agravado los fenómenos de erosión e inundación generando daños importantes en las zonas costeras.

En este contexto, urge acelerar la acción frente al calentamiento global y sus impactos a nivel mundial y, en especial, en entornos urbanos tan complejos como Cala Millor, donde se espera que el aumento del nivel medio del mar agrave los problemas actuales de estabilidad de la playa, inundación costera, afección a los ecosistemas, al motor económico de la zona, etc., como se ha estimado en el análisis del riesgo frente al cambio climático en la etapa anterior del proyecto (Fernández-Mora, A. et al., 2025).

En el presente documento se resumen algunos de esos efectos e impactos identificados en el marco del presente proyecto, para elaborar un diagnóstico de la situación actual y futura de Cala Millor y proponer medidas y estrategias de adaptación frente al cambio climático, como se verá en los siguientes apartados.

Para mayor detalle se remite al lector a los informes correspondientes a la evaluación del riesgo elaborados en el paquete de trabajo *WP3 Global change impacts and risks assessments at Cala Millor* de este proyecto (Fernández-Mora, A. et al. 2025 y en Fernández-Mora, A., García-García, M. et al. 2025).

2.2. Escenarios de cambio climático

Con el fin de conocer a qué cambios deben hacer frente estas acciones, en el marco del presente proyecto (Fernández-Mora, A. et al., 2025), siguiendo el estudio regional Luque et al. (2021), se han estimado las proyecciones considerando dos escenarios distintos de emisión denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) del quinto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su acrónimo en inglés): un escenario de estabilización (RCP 4.5) y un escenario con un nivel alto de emisiones de gases de efecto invernadero como el actual (RCP 8.5).

Las proyecciones de la subida regional del nivel del mar se han obtenido utilizando la metodología desarrollada por Kopp et al. (2014) y se han considerado tres años horizonte 2030, 2050 y 2100.

En la Figura 57 se muestran las proyecciones de aumento del nivel medio del mar obtenidas para los dos escenarios contemplados RCP 4.5 (azul) y RCP 8.5 (rojo). En este gráfico, las líneas continuas representan el percentil del 50% del ensemble multi-modelo, mientras que las zonas sombreadas delimitan los percentiles del 5% y del 95% de dicho ensemble.

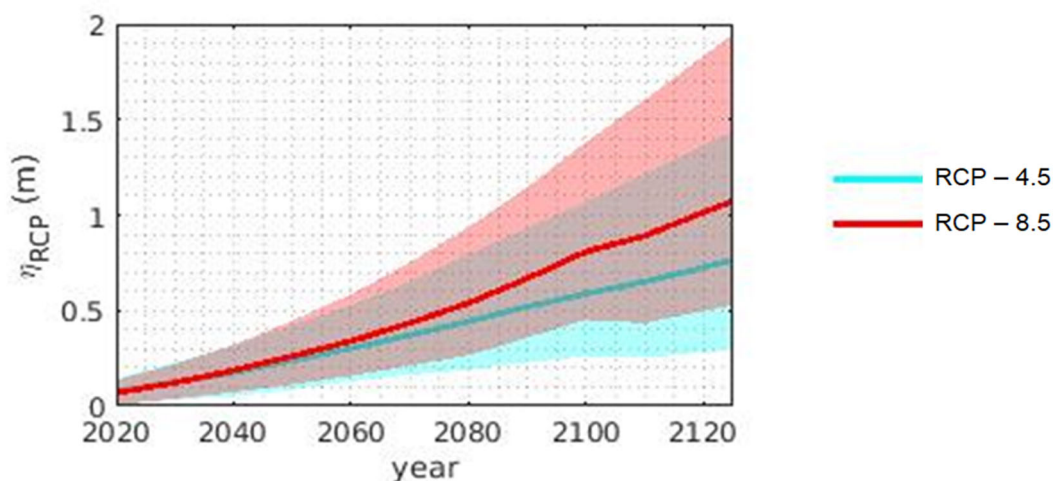


Figura 57. Proyecciones de aumento del nivel medio para los escenarios climáticos RCP-4.5 (azul) y RCP-8.5 (rojo). Las líneas continuas representan la mediana del ensemble del multi-modelo y las zonas sombreadas los intervalos de probabilidad del 5–95%. Fuente imagen: Fernández-Mora, A., et al. (2025)

En la Tabla 4 se resumen las componentes de nivel medio del mar consideradas en función del escenario y el año horizonte considerado. En el caso de las proyecciones se han considerado el percentil del 50%

	RCP 4.5 η_t (m)			RCP 8.5 η_t (m)		
	2030	2050	2100	2030	2050	2100
Nivel del mar actual η_0	0.27					
Variación estacional media η_s	0.34					
Proyecciones SLR η_{RCP}	0.12 (0.03,0.23)	0.24 (0.09,0.42)	0.59 (0.26,1.07)	0.12 (0.04,0.22)	0.26 (0.11,0.45)	0.81 (0.45,1.31)

Tabla 4. Componentes del forzamiento del nivel del mar considerados en las simulaciones de evaluación del riesgo para Cala Millor en Fernández-Mora, A. et al. (2025).

Por otro lado, para evaluar los posibles efectos del cambio climático en la *Posidonia oceanica*, se ha considerado la temperatura máxima de la superficie del mar, dado que su tasa de mortalidad (M) está estrechamente relacionada con la temperatura máxima anual (T_{max}), tal y como proponen (Marbà y Duarte, 2010).

Las proyecciones de las temperaturas máximas de la superficie del mar en el archipiélago balear para el periodo 2024-2100 se obtuvieron a partir de modelos computacionales desarrollados en la sexta fase del proyecto de Intercomparación de Modelos de Clima Acoplados (en inglés *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*, de forma abreviada CMIP6). Con el fin de garantizar la mayor representatividad y precisión, se consideraron 29 modelos climáticos bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Posteriormente, se tomaron los promedios de todos estos modelos para mitigar posibles sesgos y proporcionar una estimación más sólida y fiable de las temperaturas previstas (información detallada en Fernández-Mora, A., et al., 2025).

En la Figura 58 y en la Figura 59 se muestran las proyecciones de temperatura máxima anual de la temperatura superficial del agua para el periodo 2024-2100 para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente.

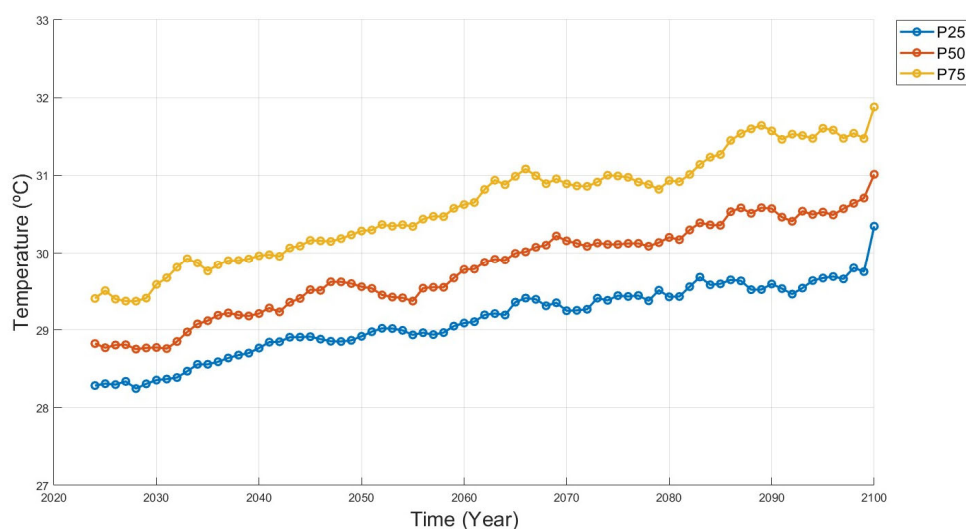


Figura 58. Proyecciones de la temperatura máxima anual de la superficie del mar (°C) para el periodo 2024-2100 bajo el escenario RCP 4.5, basado en 29 modelos climáticos. Los valores representan los percentiles del 25% P25, línea azul), 50% (P50, línea roja) y 75% (línea amarilla) de las simulaciones. Fuente imagen: Fernández-Mora, A. et al. (2025).

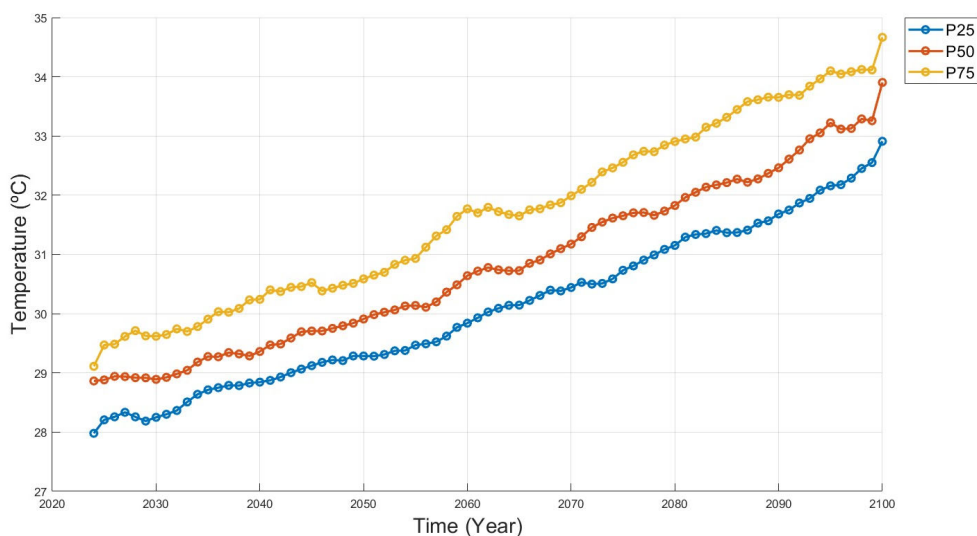


Figura 59. Proyecciones de la temperatura máxima anual de la superficie del mar (°C) para el periodo 2024-2100 bajo el escenario RCP 8.5, basado en 29 modelos climáticos. Los valores representan los percentiles del 25% P25, línea azul), 50% (P50, línea roja) y 75% (línea amarilla) de las simulaciones. c

Dado que el confort térmico también puede ser determinante para el bienestar de la población, las actividades que se pueden realizar en el litoral y la demanda turística, también se han considerado las proyecciones de aumento de temperatura atmosférica en los meses de verano. En este caso se han utilizado de la *plataforma Copernicus Climate Data Store*, concretamente la temperatura del aire a 2 metros por encima de la superficie de la tierra, el mar o las aguas interiores. El tratamiento de los datos y la metodología seguida para obtener las proyecciones de temperatura del aire se pueden consultar en Fernández-Mora, A., et al., (2025).

En la Tabla 5 se incluye las proyecciones obtenidas a partir de 24 modelos de temperatura del aire en el periodo 2024-2100 bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

RCP-4.5				RCP-8.5			
YEAR	P25	P50	P75	YEAR	P25	P50	P75
2024	24.1°C	24.9°C	25.8°C	2024	24.1°C	24.8°C	25.2°C
2030	24.3°C	24.8°C	25.6°C	2030	23.4°C	25.0°C	25.8°C
2050	25.5°C	25.8°C	26.4°C	2050	24.9°C	26.1°C	26.6°C
2100	25.3°C	26.8°C	27.5°C	2100	28.6°C	29.4°C	29.9°C

Tabla 5. Temperatura media diaria del aire cerca de la superficie en verano (junio, julio y agosto) para el periodo 2024-2100 bajo dos escenarios de emisiones, RCP-4.5 y RCP-8.5.
Fuente tabla: Fernández-Mora, A. et al. (2025).

A continuación, se resumen algunos de los resultados obtenidos en el marco de este proyecto en la evaluación de los efectos e impactos del cambio climático considerando estas proyecciones.

2.3. Efectos e impactos del cambio climático

2.3.1. Dimensión física

En este apartado se resumen los efectos e impactos del cambio climático desde el punto de vista físico, es decir, cómo afecta a los patrones de oleaje y corrientes para comprender cuáles son los cambios esperados en el modelo de funcionamiento, en la inundación generada por el oleaje y la subida del nivel medio del mar y en la erosión costera con base en la anchura de playa seca.

2.3.1.1. Hipótesis de partida

El presente estudio se enmarca en el proyecto LIFE ADAPTCalaMillor, por lo que, para analizar los efectos e impactos del cambio climático, se han empleado los resultados de evaluación de riesgo obtenidos en la etapa anterior del proyecto (*WP3 Global change impacts and risks assessments at Cala Millor* de este proyecto), en la que se han considerado las siguientes hipótesis de trabajo:

- Se considera que el aumento del nivel medio del mar como el principal el efecto del cambio climático en las dinámicas.
- Para el análisis de la inundación permanente, se considera únicamente el ascenso del nivel medio del mar. De este modo, el mapa de inundación permanente para cada escenario y año horizonte se obtiene mediante el método “bañera” (en inglés *bathtub*) considerando el modelo del terreno actual y el nivel de mar en el futuro. Este nivel del mar en el futuro se ha obtenido como la suma del nivel del mar actual (0.27 m) y las distintas proyecciones de aumento del nivel medio del mar reflejadas en la Tabla 4. De este modo, los niveles del mar considerados son los que se incluyen en la Tabla 6

Escenario	Año horizonte	Nivel del mar futuro (m)		
		5%	50%	95%
RCP 4.5	2030	0.3	0.39	0.5
	2050	0.36	0.51	0.69
	2100	0.53	0.86	1.34
RCP 8.5	2030	0.31	0.39	0.5
	2050	0.38	0.53	0.72
	2100	0.72	1.08	1.58

Tabla 6. Valores del nivel medio del mar en el futuro para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para los distintos años horizonte (2030, 2050 y 2100).

- Se asume que la anchura de playa seca viene definida por la zona de la playa que no queda inundada permanentemente. De este modo, el retroceso de la playa por el aumento del nivel medio del mar viene definido por la diferencia entre la inundación permanente actual y la futura para cada uno de los escenarios y años horizonte.
- Para el análisis de la inundación extrema, se considera como tormenta de referencia un temporal del E de periodo de retorno 100 años obtenido a partir de la generación sintética de eventos extremos mediante un análisis probabilístico

multivariado. Una vez obtenido ese temporal (serie de Hs, Tp y marea meteorológica) se ha simulado la propagación del oleaje y la inundación asociada mediante el modelo XBeach (Roelvink et al., 2009), en el modo *surfbeat* para cada uno de los escenarios y años horizonte considerados con su correspondiente nivel de referencia (Tabla 6). En todas las simulaciones se ha empleado topobatimetría actual, es decir, no se considerado el retroceso por aumento del nivel medio del mar a la hora de evaluar los efectos del evento extremo bajo los distintos escenarios de cambio climático.

- En el análisis de los impactos en la socioeconomía, debido a la imposibilidad de simular situaciones o escenarios reales en los que los turistas se enfrenten a pérdidas de playa o aumentos de temperatura, en este proyecto se ha optado por realizar encuestas directamente a los turistas para valorar un aumento de temperatura y la pérdida de superficie de playa, empleando una escala Likert para evaluar su percepción.

En Fernández-Mora, A. et al. (2025) y en Fernández-Mora, A., García-García, M. et al. (2025) puede encontrarse más información sobre las metodologías y aproximaciones de trabajo empleadas.

2.3.1.2. Modelo de funcionamiento

Con el fin de evaluar los efectos del cambio climático en el modelo de funcionamiento, se han empleado los mismos modelos de oleaje y corrientes que los utilizados en el capítulo 2, considerando las mismas hipótesis de partida del apartado anterior.

A modo de ejemplo, en las siguientes figuras se muestran las diferencias de los patrones de oleaje y sistemas de corrientes entre la situación actual y futura para los temporales del NE, E, ESE y SE. Como situación futura se ha seleccionado el escenario RCP 8.5 para el año horizonte 2100 y se ha considerado la proyección de aumento del nivel medio del mar correspondiente al percentil 50%, es decir, se ha considerado que el nivel medio del mar futuro es 1.08 m, tal y como se muestra en la Tabla 4.

En la Figura 60 se comparan los patrones de oleaje en la situación actual y futura para un temporal del NE. En la imagen A) se muestra el mapa de altura de ola Hs (mapa de colores) y la dirección (flechas) de la situación actual, en la imagen B) el mapa de altura Hs y la dirección para 2100 bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%) y, en el C) la diferencia de altura de ola (futura-actual) y la dirección de la situación actual (flechas). Como se observa en C), la principal diferencia se encuentra en la magnitud en la zona de rompientes, que al aumentar el nivel medio del mar en la situación futura el calado es mayor, con lo que llegan olas de mayor intensidad a dicha zona (incremento de 0.4-0.85 m) y la rotura se produce más cerca de la costa, notándose menos el efecto de las barras. También se producen algunos cambios en la zona de los paleocanales, pero éstos son inferiores a 0.10 m y no modifican significativamente el resto de la propagación hacia la costa, por lo que los patrones en ambas situaciones son similares.

Lo mismo ocurre con el resto de direcciones, como se puede observar en la propagación de los oleajes del E (Figura 61), ESE (Figura 62) y SE (Figura 63). En este último caso, la afección a la zona de rompientes en el Sur es menor porque en esa área ya está protegida por la Punta n'Amer y las alturas de ola que alcanzan la costa son pequeñas.

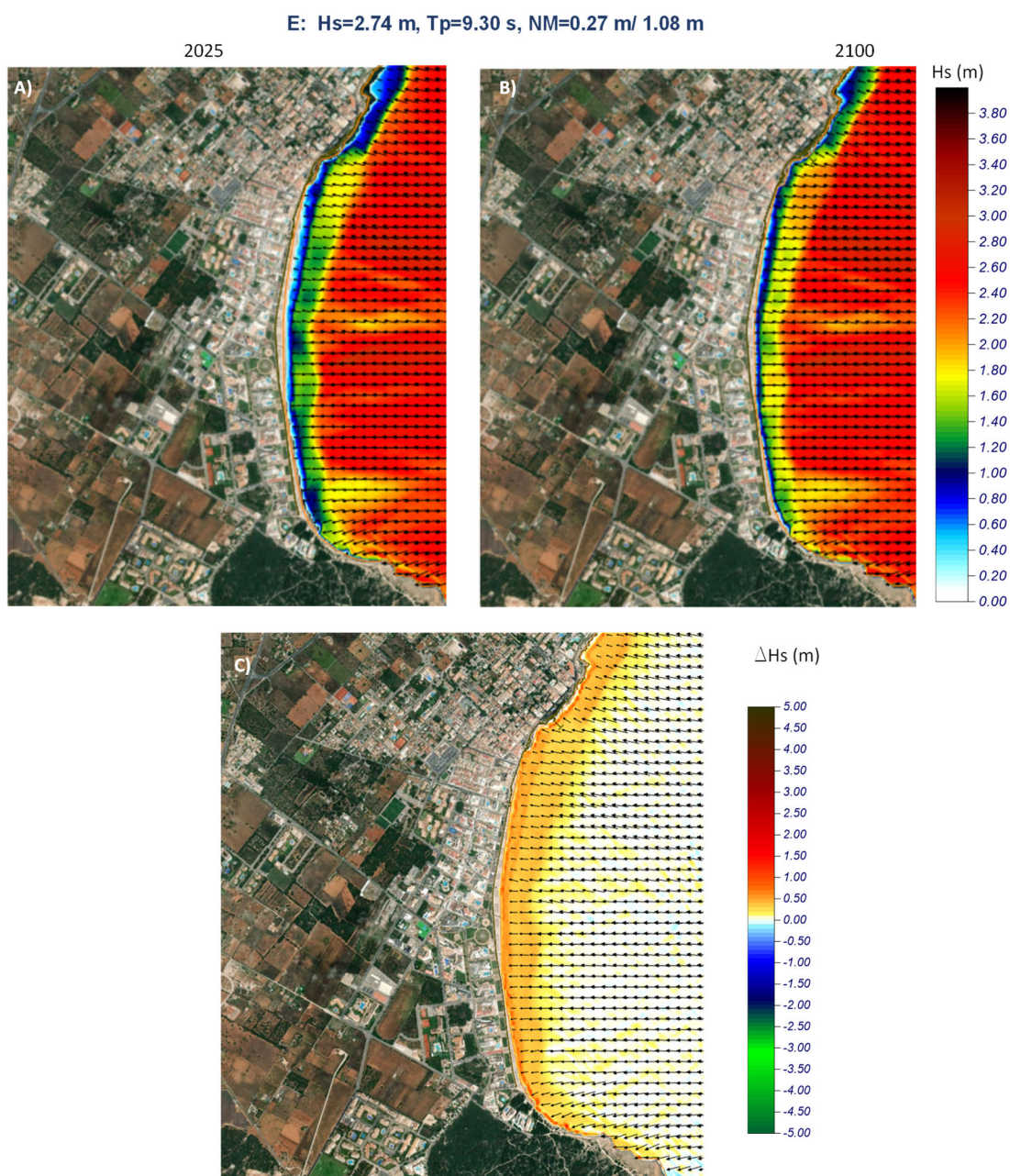


Figura 61. Comparación patrones de oleaje asociados a un temporal del E correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%). A) mapa de altura de ola y dirección de oleaje en situación actual, B) mapa altura de ola y dirección de oleaje en situación futura, C) diferencia de altura de ola y dirección de oleaje situación actual.

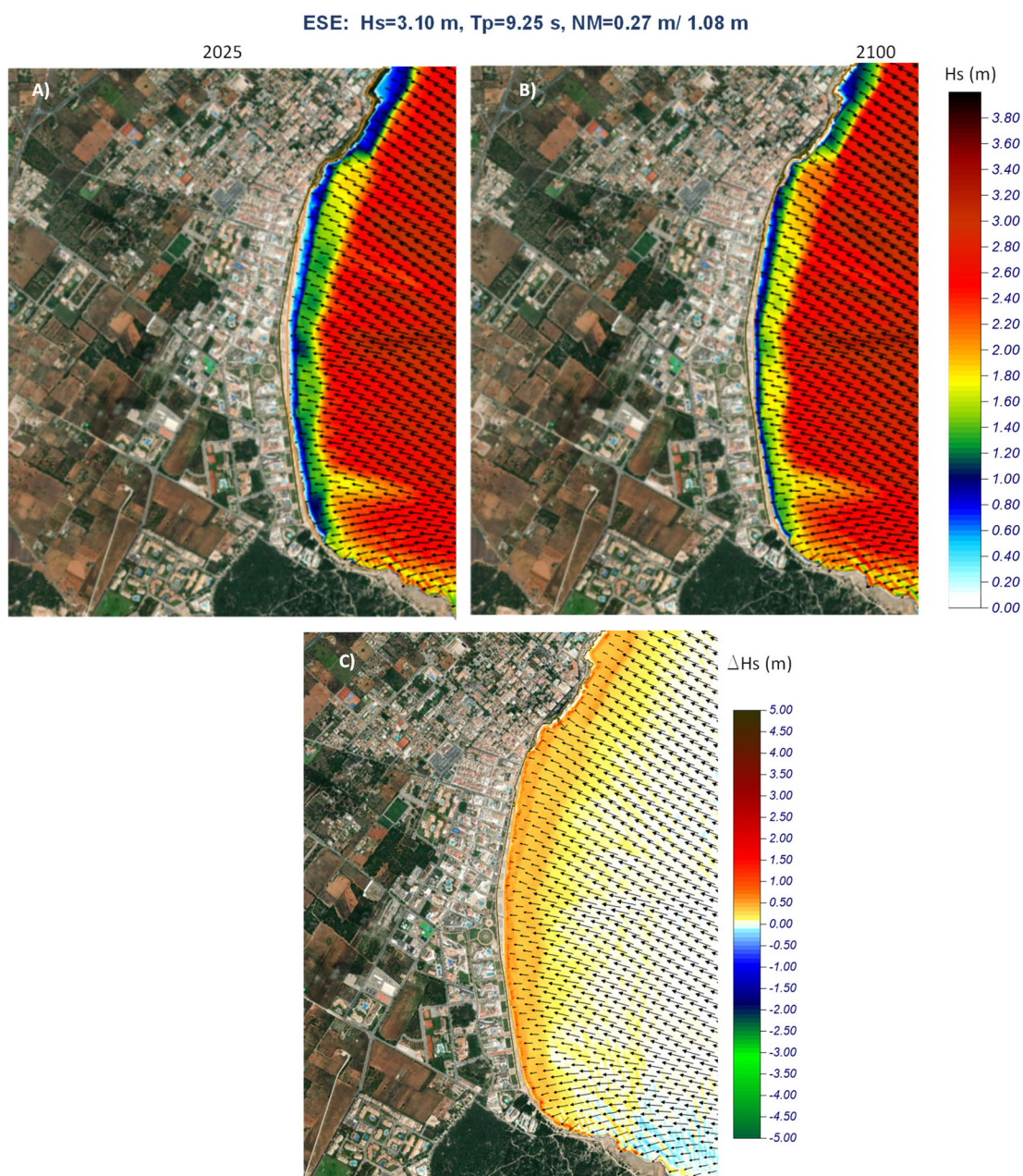


Figura 62. Comparación patrones de oleaje asociados a un temporal del ESE correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%). A) mapa de altura de ola y dirección de oleaje en situación actual, B) mapa altura de ola y dirección de oleaje en situación futura, C) diferencia de altura de ola y dirección de oleaje situación actual.

SE: $H_s=2.10$ m, $T_p=8.25$ s, $NM=0.27$ m/ 1.08 m

2025

2100

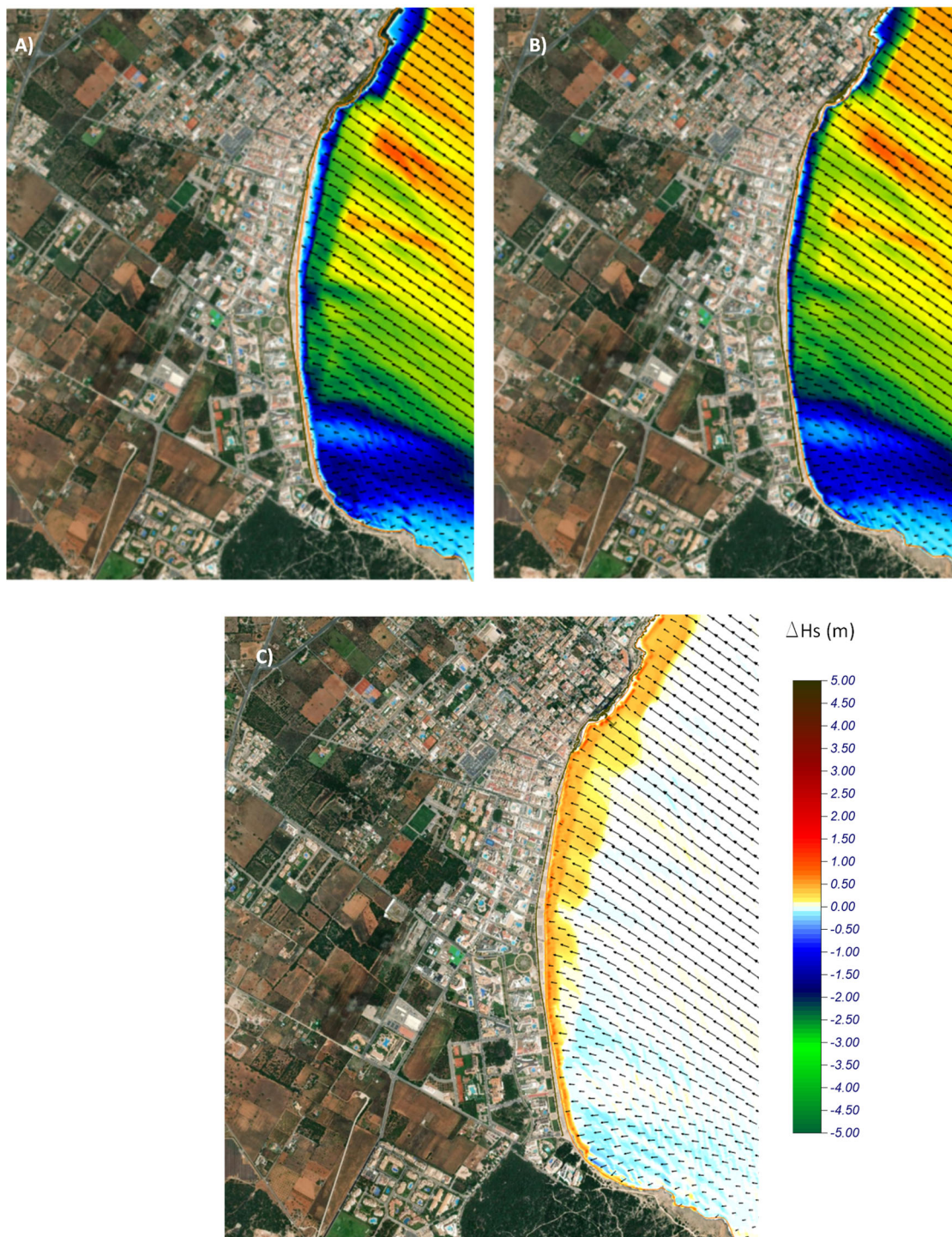


Figura 63. Comparación patrones de oleaje asociados a un temporal del SE correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%). A) mapa de altura de ola y dirección de oleaje en situación actual, B) mapa altura de ola y dirección de oleaje en situación futura, C) diferencia de altura de ola y dirección de oleaje situación actual.

Respecto a las corrientes asociadas a esos oleajes, al ser los cambios en el oleaje bastante uniformes, los patrones de corrientes, en general, no experimentan grandes cambios en cuanto a sentido de las mismas, sólo cambios de intensidad.

A continuación, se comentan algunos de los cambios previstos en el modelo de funcionamiento de cada una de las direcciones. Para facilitar la comprensión, en las siguientes figuras se muestran los sistemas de corrientes asociados a un temporal del NE (Figura 64), E (Figura 65), ESE (Figura 66) y SE (Figura 67).

En el caso de las corrientes del NE (Figura 55), se reduce la capacidad portante de las corrientes frente a carrer de Binicanella, frente s'Estanyol y Borneo, desaparece la corriente que se originaba en la zona exterior de las barras frente a carrer Flamenc. Por tanto, en general, se espera que en el futuro haya menos pérdidas hacia aguas más profundas y menos movimiento longitudinal. No obstante, en la zona Sur se produce una intensificación de la corriente en Cala Nau, lo que puede modificar la zona de sedimentación más al Norte, frente a la carrer Borneo, y un incremento de la corriente al norte de dicha zona hacia Rosella, por lo que se espera que haya una mayor erosión en ese tramo costero, cuando los temporales sean del NE.

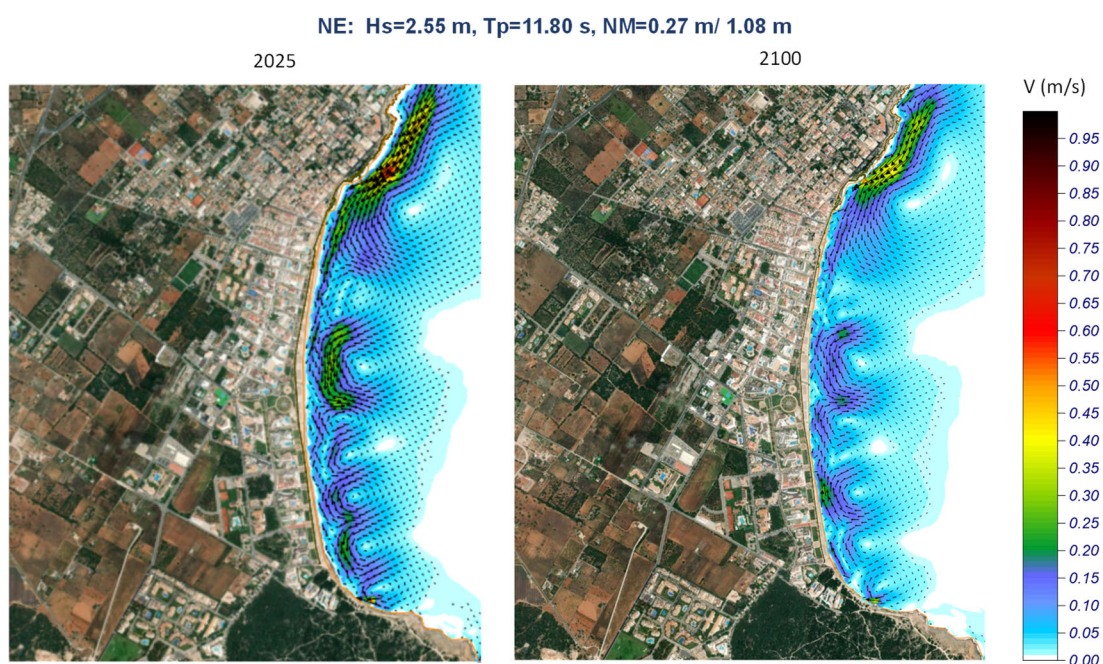


Figura 64. Comparación sistemas de corrientes asociados a un temporal del NE correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%)

Algo similar ocurre con los oleajes del ENE, con un aumento de escasa entidad en frente a carrer Rosella, incrementando la erosión en ese sector.

Respecto a las corrientes correspondientes a un temporal del E (Figura 65), los patrones son similares en ambos casos, con una reducción de la intensidad de las corrientes, salvo en la zona de Cala Nau, que las corrientes aumentan ligeramente (hasta 0.1 m/s respecto a la situación actual), por lo que aumentará la erosión en esa zona.

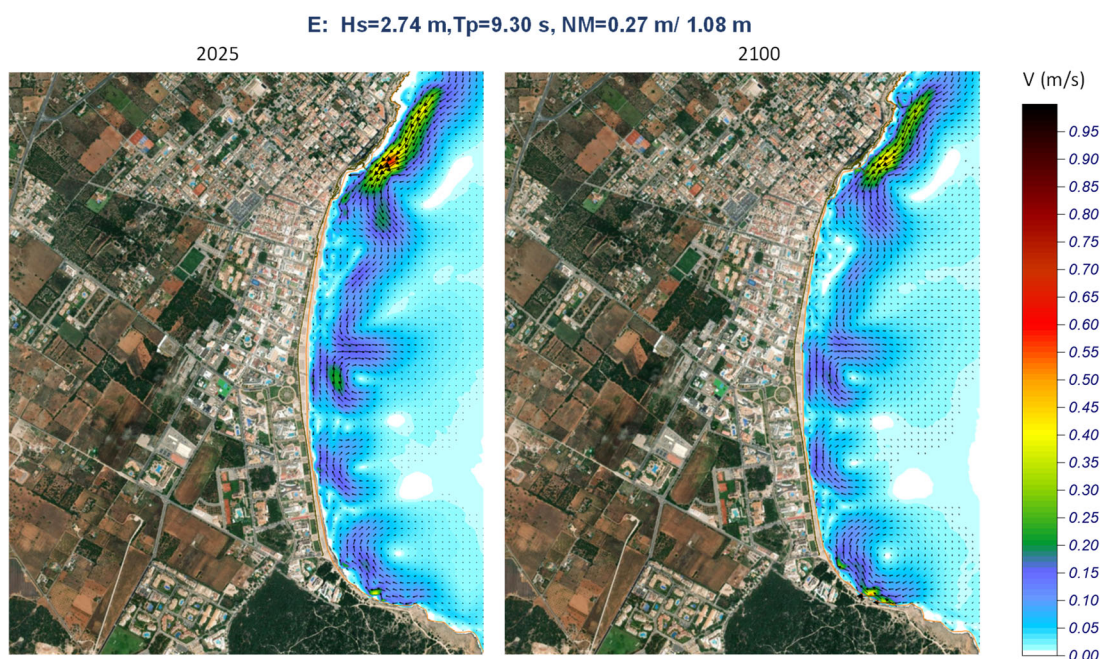


Figura 65. Comparación sistemas de corrientes asociados a un temporal del E correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%)

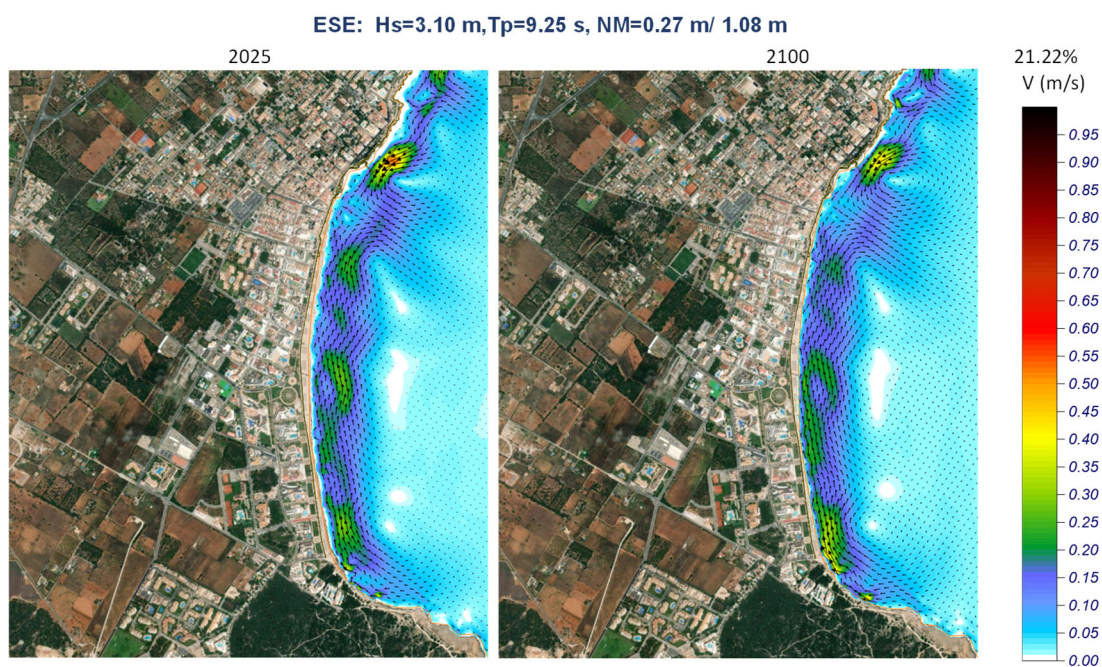


Figura 66. Comparación sistemas de corrientes asociados a un temporal del ESE correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%)

En el caso de los temporales del ESE (Figura 66), el comportamiento es similar a los anteriores, es decir, los patrones de corrientes son similares con variaciones en la intensidad de las mismas, principalmente disminuyen. Sin embargo, se observa un incremento de las corrientes longitudinales entre carrer Flamenc y s'Estanyol d'en Roig y una pequeña disminució frente a carrer Bonança y un aumento de las corrientes entre Cala Nau y carrer Rosella. No obstante, esas variaciones son inferiores a 0.1 m/s, por lo que no se esperan grandes cambios en la distribución sedimentaria de la zona.

Por último, durante los temporales del SE (Figura 67), las corrientes transversales también pierden protagonismo al no estar tan condicionado el sistema por las barras al aumentar el nivel y las longitudinales del tramo Norte disminuyen, reduciéndose también la capacidad de pérdida de arena hacia Cala Bona. En cambio, en el Sur se intensifican ligeramente (inferior 0.1 m/s) y, en especial frente a carrer Golf, aumentando la erosión en esa zona. En el caso del oleaje del SSE, que sólo existen corrientes superiores a 0.1 m/s en el tramo Norte, el comportamiento es el mismo, con una disminución de corriente generalizada: por tanto, en este caso, también se reduce la capacidad de pérdida de arena hacia Cala Bona.

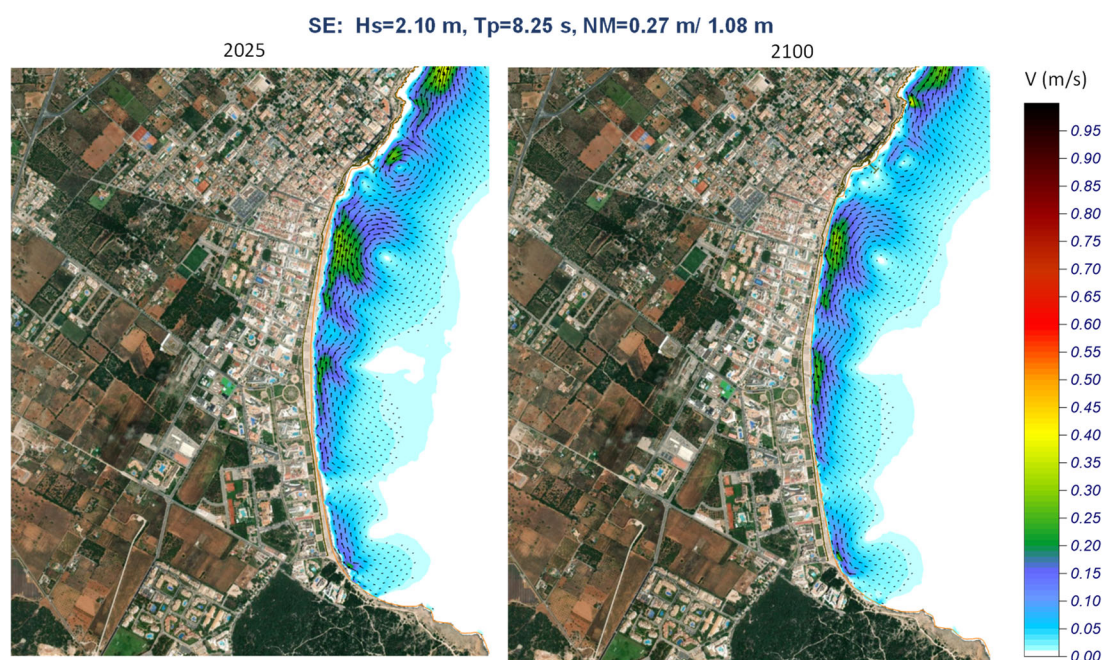


Figura 67. Comparación sistemas de corrientes asociados a un temporal del SE correspondientes a la situación actual (2025) y la futura (2100) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%)

En resumen, los cambios esperados por aumento del nivel del mar apenas modifican los patrones de oleaje y corriente, salvo que se reducen las corrientes transversales que transportan actualmente el sedimento hacia las cotas bajas del perfil, y pequeños cambios de las corrientes longitudinales (0.1 m/s), que reducen el transporte en la zona Norte, y un aumento en determinados tramos de la costa Sur en función de la dirección del oleaje. Cabe señalar, que aunque los patrones específicos de dónde se acumula sedimento o dónde se produce erosión depende de la procedencia del oleaje, en todos

los casos se ha observado una tendencia a disminuir el transporte fuera de la playa (transversal hacia aguas más profundas y hacia Cala Bona) y un aumento de la erosión en la zona Sur, aumentando la exposición de la zona y más aún entre carrer Rosell y Flamenc, donde la anchura de la playa ya es inferior a 20 m, como se verá en el apartado 2.3.1.3.

2.3.1.3. Inundación permanente y anchura de playa seca

En la evaluación del riesgo de inundaciones costeras de la etapa anterior del proyecto (WP3, Fernández-Mora, et al., 2025) se ha analizado la inundación permanente por aumento del nivel medio del mar bajo distintos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5), considerando varios horizontes temporales (2030, 2050 y 2100).

Con el fin de ilustrar gráficamente los posibles efectos de la inundación permanente, en la Figura 68 se muestra el mapa de inundación permanente para el año 2100 (área azul) y el alcance máximo en el año 2050 (línea magenta), considerando la proyección de aumento de nivel del mar correspondiente al percentil del 50%, es decir, para un nivel del mar futuro de 1.08 m (véase Tabla 6).

Como se ha comentado anteriormente, esta inundación es la que se ha considerado en el WP3 para estimar la anchura de la playa seca, como diferencia entre la línea de costa actual y el límite del área inundada en los distintos escenarios y años horizonte. En la Figura 69 se muestra la playa seca en la situación actual (A), en 2050 (B) y en 2100 (C) correspondientes a las inundaciones permanentes de la Figura 68 (RCP 8.5, percentil 50%).

Tal y como se aprecia en la Figura 68, las previsiones para los próximos años es una pérdida progresiva del arenal en función del escenario y el año seleccionado y habrá zonas donde la playa prácticamente desaparecerá, como entre carrer de Binicanella y Platja Petita o frente a Flamenc, donde actualmente la anchura de playa seca es inferior a 10 m y a 20 m respectivamente (Figura 69 A). En cuanto al año 2100 (Figura 69 B), para ese escenario, se estima que sólo habrá una playa de más de 20 m en la zona central, desde Caravel les hasta Platja Petita y entre Rosella y Flamenc, apenas habrá playa seca.

En la Tabla 7 se resumen los resultados obtenidos para todos los escenarios climáticos, años horizonte y percentiles analizados: área inundada y anchura de playa seca. Para cada año horizonte se han incluido dos celdas: en la superior se ha incluido el valor medio de la variable asociada al percentil del 50% de aumento del nivel medio del mar y, en la inferior entre paréntesis, los valores correspondientes a los percentiles del 5% y 95%. En la Tabla 8 se muestran los % de anchura de playa seca perdida para cada uno de los escenarios.

Según los resultados obtenidos por Fernández-Mora et al., (2025), los impactos del cambio climático en el año 2030 son iguales para ambos escenarios, una pérdida media de extensión de playa seca de unos 4 900 m³ (variación entre aproximadamente 2 800 m² y 8 075 m², Tabla 7) y el ancho medio de playa 26.1 m (Tabla 7), que supone una pérdida del 20.30% (Tabla 8), respecto a la situación actual (32.75 m).



Figura 68. Mapa de inundación permanente para los años horizonte 2050 y 2100 bajo el escenario RCP 8.5 considerando el percentil de aumento del nivel medio del mar del 50%.

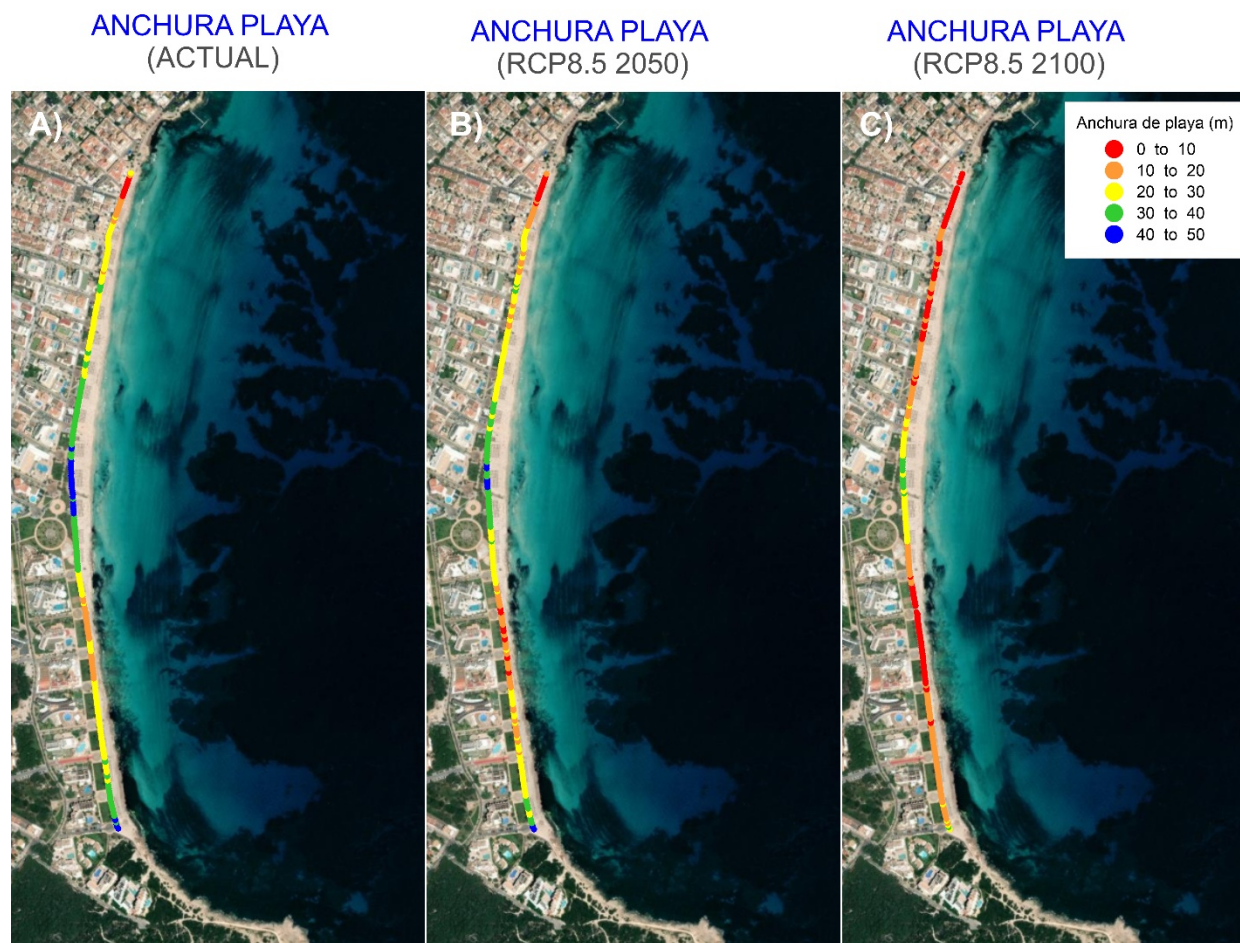


Figura 69. Mapa de anchura de playa seca en la situación actual (A) y la futura en 2050 (B) y en 2100 (C) bajo el escenario RCP 8.5 (valores asociados al percentil del 50%)

Situación	Año horizonte	Inundación permanente (m ²)	Anchura playa (m)
ACTUAL	2024	-	32.75
FUTURA RCP4.5	2030	4 900	26.1
		(2 800; 8 075)	(24.08; 27.6)
	2050	8 375	23.91
		(4 025; 14 700)	(19.78; 26.71)
	2100	19 300	16.84
		(8 975; 31 700)	(9.16; 23.51)
FUTURA RCP8.5	2030	4 900	26.1
		(2 925; 8 075)	(24.08; 27.49)
	2050	8 975	23.51
		(4 550; 15 750)	(19.10; 26.33)
	2100	24 425	13.61
		(15 750; 43 900)	(1.69; 19.1)

Tabla 7. Área inundada permanentemente y anchura de playa seca bajo los distintos escenarios climáticos y años horizonte considerados (Fernández-Mora et al., 2025)

		Pérdida de anchura de playa (%)		
		5%	50%	95%
RCP4.5	2030	15.70%	20.30%	26.50%
	2050	18.40%	27.00%	39.60%
	2100	28.20%	48.60%	72.00%
RCP8.5	2030	16.10%	20.30%	26.50%
	2050	19.60%	28.20%	41.70%
	2100	41.70%	58.50%	94.80%

Tabla 8. Pérdida de playa seca (%) estimada Fernández-Mora et al. (2025)

En el año 2050, se agrava ligeramente la situación y los resultados son parecidos también para ambos escenarios: pérdida de área de playa media de unos 8 375- 8 975 m² (variación entre 2 800 m² y 8 075 m²) y ancho de playa 23.51-23.91 m (rango probable de 19.10 m a 26.71 m), que implica una pérdida media del 27-28.2%.

En cambio, en 2100 ya se esperan mayores diferencias entre ambos escenarios:

- En el escenario RCP 4.5, la superficie inundada varía entre 8 975 m² y 31 700 m², con un valor medio en torno a 19 300 m², dejando una anchura de playa media de unos 16.84 m (entre 9.16 y 23.51 m).
- En el escenario RCP 8.5, la superficie inundada varía entre 15 750 m² y 43 900 m², con un valor medio en torno a 24 425 m², dejando una anchura de playa media de unos 13.61 m (entre 1.69 y 19. 1 m). Especialmente, prácticamente sólo existiría una playa de más de 20 m en la zona central y un pequeño tramo en Cala Nau (Figura 69).

Esta reducción de la anchura de la playa disminuye la capacidad de protección que ejerce la playa en su trasdós. Además, al ser un entorno urbano turístico, conlleva la pérdida de los servicios ecosistémicos asociados a la playa, lo cual tiene implicaciones socioeconómicas relevantes si no se adoptan medidas de adaptación, como se comentará posteriormente.

En Fernàndez-Mora et al. (2025) pueden verse todos los mapas e información más detallada al respecto.

2.3.1.4. Inundación extrema

La evaluación del riesgo de inundación costera ante el evento extremo se ha desarrollado mediante la modelización de diferentes escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5, con los distintos percentiles) y años horizonte (2030, 2050, 2100), teniendo en cuenta la serie temporal asociada al evento extremo de periodo de retorno de 100 años seleccionado (oleaje, marea astronómica y marea meteorológica), la proyección de aumento del nivel medio del mar previsto en cada caso y la evolución de la pradera de *Posidonia oceanica* en función de la temperatura del agua.

Con el fin de ilustrar gráficamente los posibles efectos de la inundación extrema, en la Figura 70 se muestra el límite de la inundación extrema actual (línea azul), al escenario RCP 8.5 para el año 2050 (línea naranja) y para el año 2100 (línea amarilla), considerando en estas dos últimas la proyección de aumento de nivel del mar correspondiente al percentil del 50%, es decir, para un nivel del mar futuro de 1.08 m (véase Tabla 6).

Como se aprecia en la figura, durante el evento extremo, aunque sea una inundación temporal, se inundan la playa y alcanza tanto el paseo marítimo como primera línea de playa, afectando a los servicios y negocios existentes en la zona. La inundación esperada en el 2050 frente al evento extremo es similar a la actual, con problemas en las mismas zonas (principalmente Carrer Golf y desde la zona central hasta Sol Naixent) y alcanzando las primeras calles. Sin embargo, la inundación prevista para 2100 es mucho más extensa, alcanzando varias calles del interior, sobre todo en la zona central y desde dicho sector hacia el Norte. También aumenta en la zona de carrer Golf.

En Fernàndez-Mora et al. (2025) pueden verse todos los mapas, resultados e información más detallada al respecto. En este apartado se resumen algunos de los resultados obtenidos en dicho informe en la Tabla 9.

En particular, se muestran las estimaciones del área inundada temporalmente durante el evento extremo de periodo de retorno 100 años para todos los escenarios climáticos, años horizonte y percentiles analizados, considerando que la pradera de *Posidonia oceanica* se ve afectada por el aumento de la temperatura de agua como consecuencia del cambio climático, tal y como se comentará en el siguiente apartado. Para cada año horizonte se han incluido dos celdas: en la superior se ha incluido el valor medio de la variable asociada al percentil del 50% de aumento del nivel medio del mar y, en la inferior entre paréntesis, los valores correspondientes a los percentiles del 5% y 95%.

Para el escenario RCP4. 5, en 2030 la superficie afectada por inundaciones temporales debidas al evento extremo varía entre 72 000 m² y 79 600 m²; en 2050 entre 78 200 m² y 101 900 m², y para el escenario de 2100 el rango es 101 500 m² y 240 500 m².

Para el escenario RCP8. 5, en 2030 la superficie afectada durante el temporal de oleaje de periodo de retorno de 100 años varía entre 69 800 m² y 77 400 m²; en 2050 entre 81 000 m² y 98 400 m², y para 2100 el rango es 101 200 m² y 190 850 m².

Situación	Año horizonte	Inundación evento extremo (T=100 años) (m ²)
Actual	2024	-
FUTURA RCP4.5	2030	75 100
		(72 000; 79 600)
	2050	87 400
		(78 200; 101 900)
	2100	117 200
		(101 500; 240 500)
FUTURA RCP8.5	2030	74 700
		(69 800; 77 400)
	2050	91 500
		(81 000; 98 400)
	2100	155 100
		(101 200; 190 850*)

Tabla 9 Área inundada temporalmente durante el evento extremo de periodo de retorno de 100 años para la situación actual y futura, asumiendo que la *Posidonia oceanica* varía en el tiempo en función del escenario y año horizonte. (*) Correspondiente a la zona inundable en el primer paso temporal de la simulación de la tormenta para RCP85 P95 (Fernàndez-Mora et al., 2025)

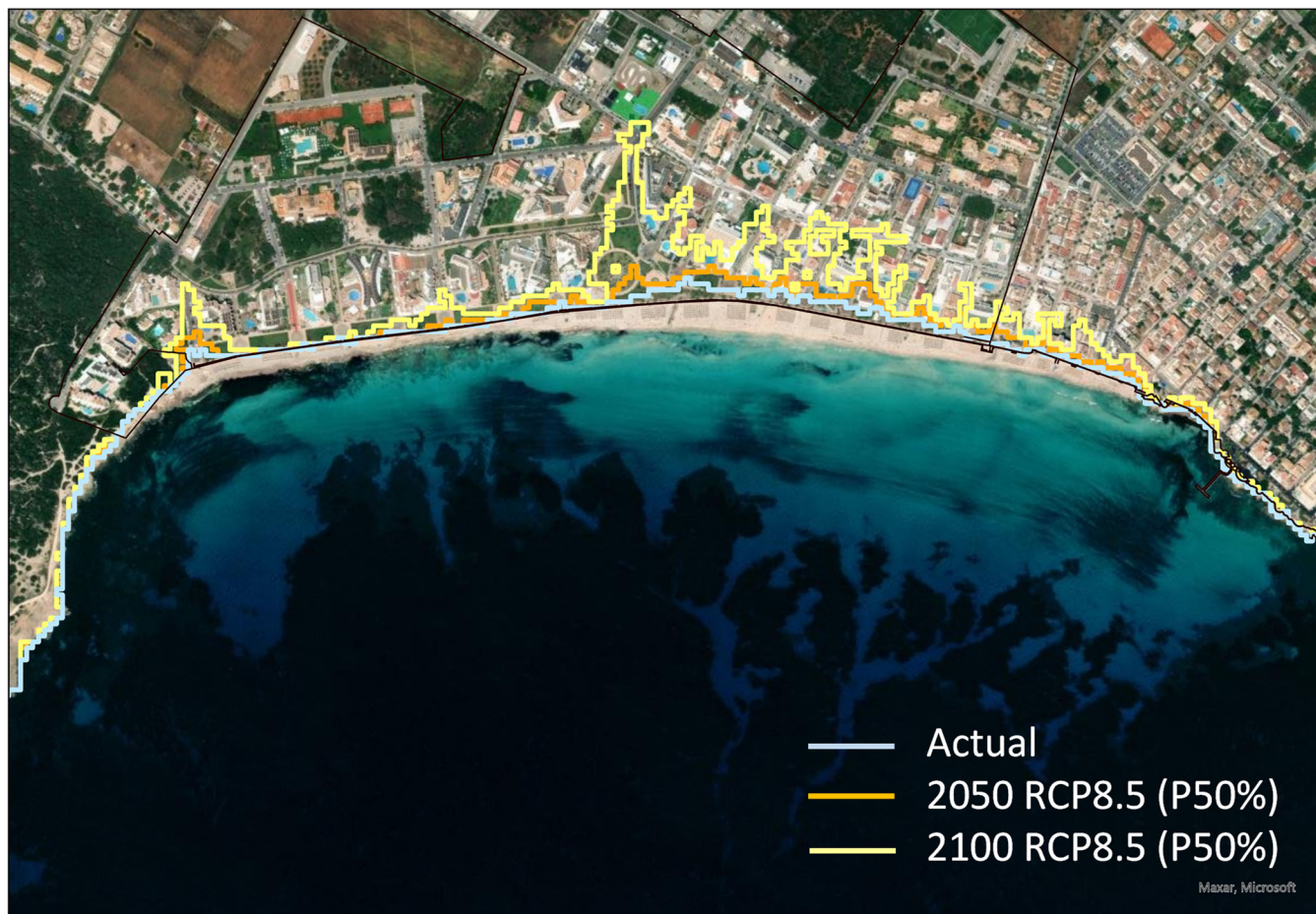


Figura 70. Mapa de inundación extrema en la situación actual para los años horizonte 2050 y 2100 bajo el escenario RCP 8.5 considerando el percentil de aumento del nivel medio del mar del 50%.

2.3.2. Dimensión ambiental

Los principales hábitats que existen actualmente en Cala Milor son el sistema dunar remanente y la pradera de *Posidonia oceanica*.

Como se ha comentado anteriormente, el sistema dunar actual es aproximadamente un 1% del existente en 1956 (Figura 14), debido al desmantelamiento del cordón dunar para construir el paseo marítimo y dar respuesta a la demanda turística a finales de los años 60. Además, este sistema dunar se encuentra muy degradado, en un entorno urbanizado y prácticamente desvinculado de la dinámica natural de la playa, lo cual impide su recuperación natural.

En la Figura 71 se muestra las distintas zonas del cordón dunar remanente, donde se aprecia que la parte de dunas móviles (en verde), la más dinámica y expuesta al oleaje, tiene una pequeña extensión en comparación con el resto (0.20 ha, 14% del área total); mientras que las dunas estabilizadas (en amarillo), más estables y con vegetación más densa, ocupan una gran extensión (1.15 ha, 76%). El resto es una zona con importantes modificaciones antropogénicas como carreteras y caminos para facilitar el acceso peatonal, su uso recreativo y el pisoteo de la vegetación, que degradan el sistema a la vez que reducen su capacidad de recuperación natural.

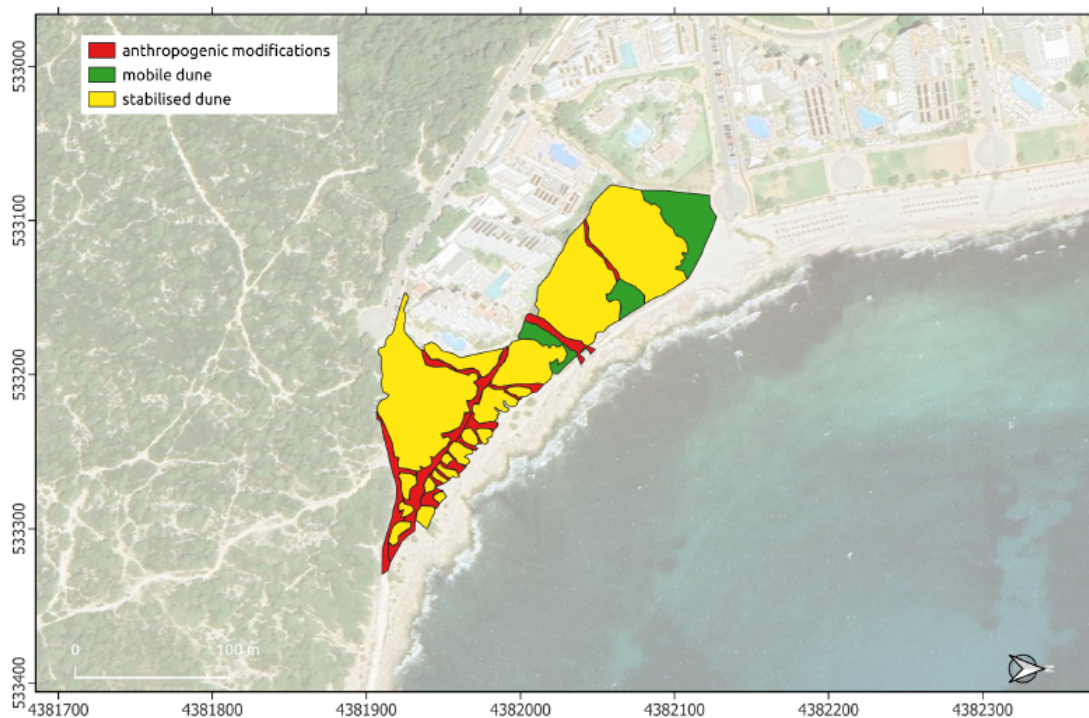


Figura 71. Delimitación del sistema dunar actual ligado a la dinámica de la playa. Fuente imagen: Fernández-Mora et al. (2025).

En este contexto, Fernández-Mora et al. (2025) analizaron los efectos del cambio climático en el sistema dunar remanente, concluyendo que el sistema apenas se verá afectado por la inundación permanente. En cambio, la inundación temporal asociada al oleaje con periodo de retorno de 100 años, han estimado que llega a afectar a una pequeña parte en 2030 y 2050 bajo ambos escenarios (véase área roja en Figura 72) y a una zona más extensa en el caso de año 2100 para el RCP 4.5 y a la totalidad de la duna bajo el RCP 8.5.

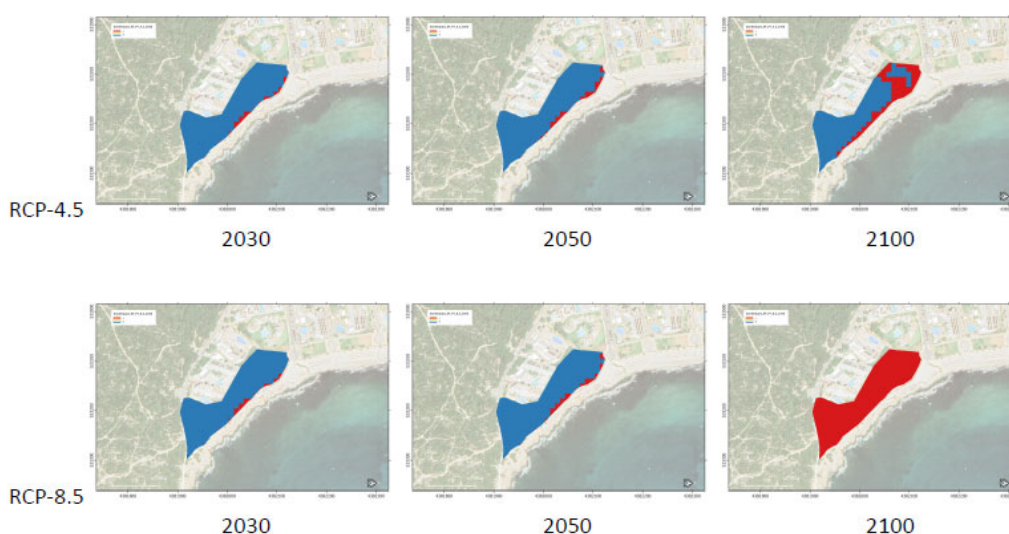


Figura 72. Afección de la inundación asociada al temporal de 100 años de periodo de retorno al sistema dunar en los años horizonte 2030, 2050 y 2100 bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 (en rojo la zona afectada).

En cuanto a la *Posidonia oceanica*, debido al aumento de la temperatura del agua (Figura 58 y Figura 59), se espera una disminución de la densidad de la pradera en los próximos años.

Para ilustrar ese cambio, en la Figura 73 se muestra cómo varía la densidad de la fanerógama en los años 2030, 2050 y 2100 bajo en escenario RCP 4.5 (panel superior) y RCP 8.5, considerando que la temperatura del agua es la correspondiente al percentil del 50% de la temperatura máxima prevista en cada año. Como se aprecia en la figura, la densidad de la pradera disminuye con la profundidad y con la temperatura del agua. De este modo, en 2030 la densidad máxima se reduce de las 600 plantas/m² de la situación actual a unas 500 plantas/m², en 2050 a 150-200 plantas/m² y en 2100 desaparece por completo en ambos escenarios.

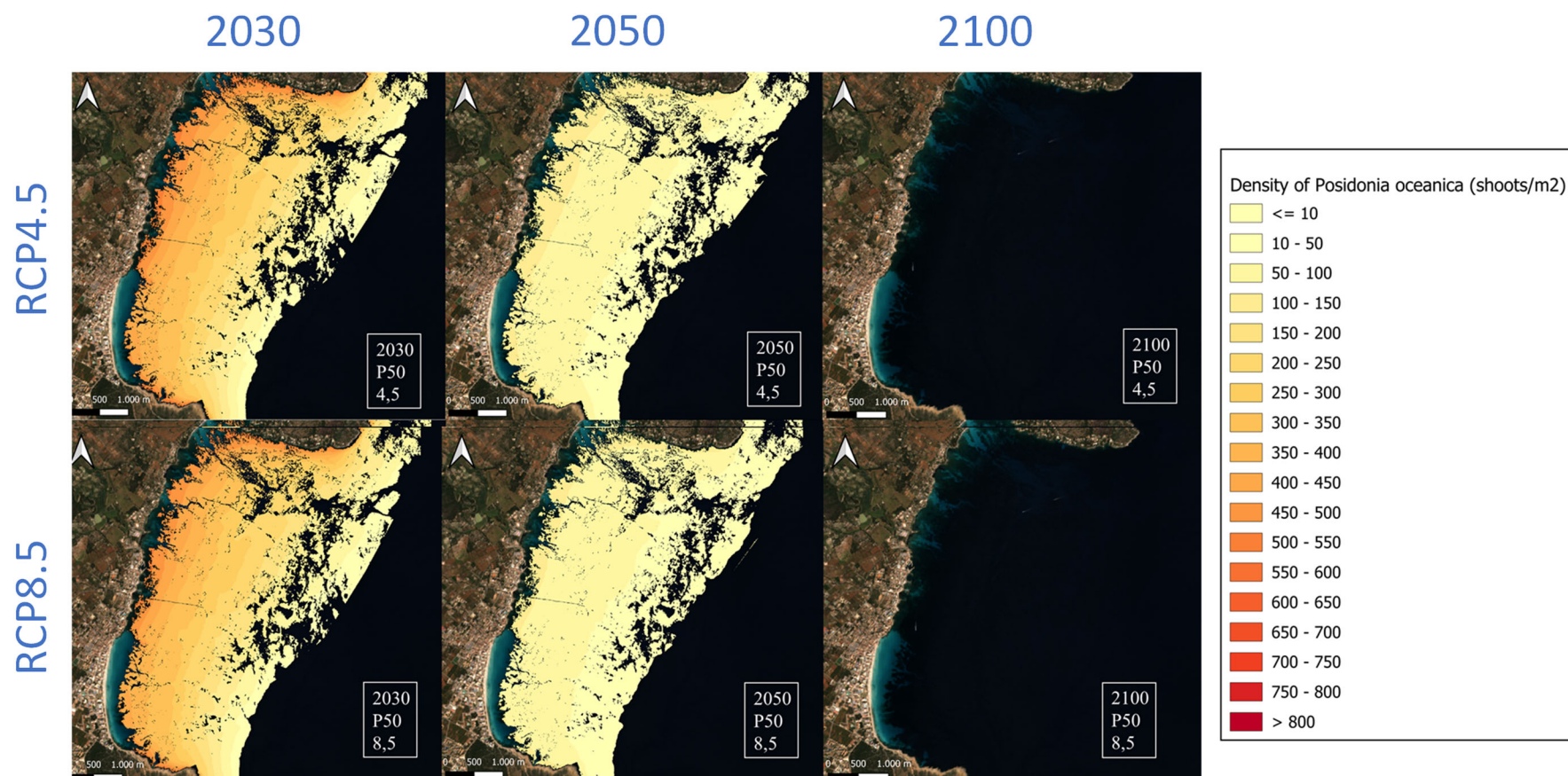


Figura 73. Evolución de la pradera de *Posidonia oceanica* bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 considerando el percentil del 50% de temperatura máxima. Imagen elaborada con los resultados del WP3 (Fernández-Mora et al., 2025)

2.3.3. Dimensión socioeconómica

Cala Millor es un ámbito urbano en el que el turismo es un elemento clave en la socioeconomía de la zona, por lo que cualquier impacto en el turismo como el aumento de temperatura ambiente o la reducción del área de playa para uso recreativo puede repercutir en la socioeconomía.

Según las estimaciones realizadas en el marco de este proyecto (véase metodología aplicada en Fernández-Mora, A. et al., 2025), el valor económico de actual del área de estudio es del orden de 2 673 billones de euros.

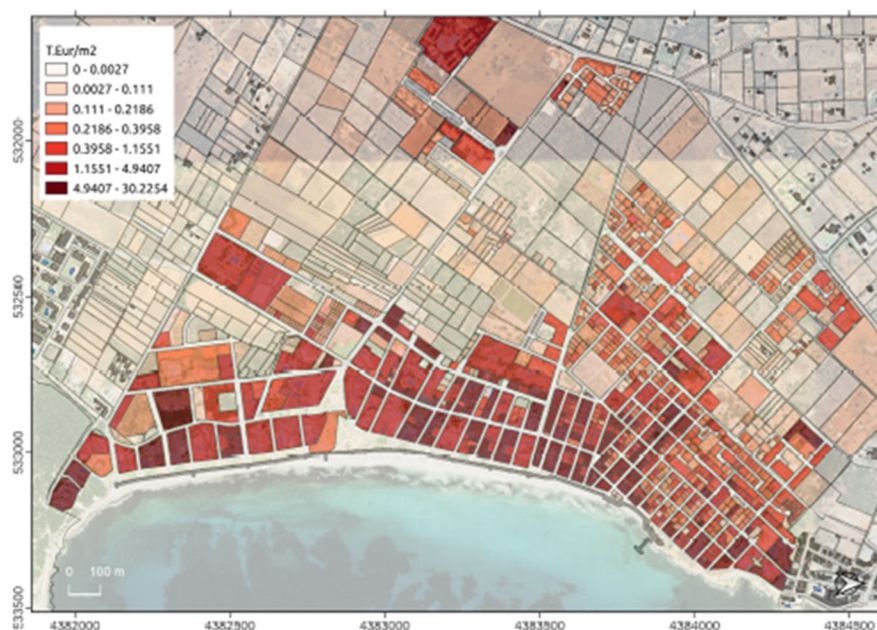


Figura 74. Valor económico actual en miles de euros por m² (Cantidad total = 2 673 468 miles de euros). Fuente imagen: Fernández-Mora, A., García-García, M. et al., (2025).

Sin embargo, se ha estimado que el aumento de las temperaturas, pero sobre todo la pérdida de superficie de playa debido al cambio climático, provocarán una pérdida de valor de la zona de entre el 25% y el 83% según el escenario considerado.

Con el fin de ilustrar esa pérdida de forma espacial, en la Figura 75 se muestran las pérdidas económicas en % estimadas para el año 2100 respecto a la situación actual, considerando el escenario climático RCP 8.5.

En la Tabla 10 se muestra en detalle la pérdida del valor económico estimado (Fernández-Mora, A. et al. 2025) en miles de euros y en % respecto a la situación actual para cada uno de los años horizonte y bajo los dos escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5.

Para más información sobre la metodología, resultados y mapas asociados a cada escenario y año horizonte, se remite al lector a los documentos del WP3 relacionados con la evaluación del riesgo Fernández-Mora, A. et al. (2025) y en Fernández-Mora, A., García-García, M. et al., (2025).

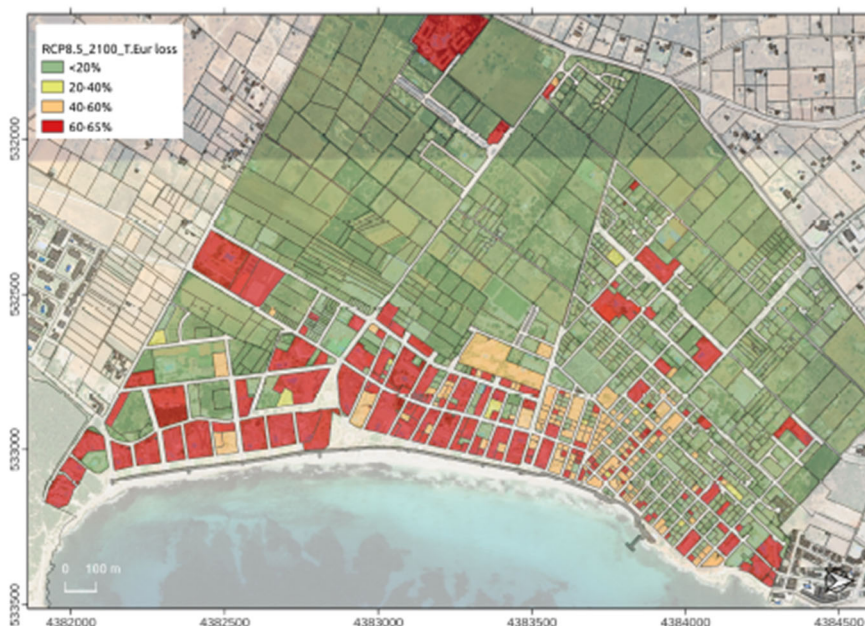


Figura 75. Pérdidas económicas en % estimadas para el año 2100 respecto a la situación actual, considerando el escenario climático RCP 8.5. Fuente imagen: Fernández-Mora, A., García-García, M. et al., 2025).

		Pérdida de valor en miles de euros y en %		
		Min/P25	Medio/P50	Max/P75
RCP4.5	2030	672,280	765,009	880,919
		-25.10%	-28.60%	-33.00%
	2050	741,826	904,101	1,135,922
		-27.70%	-33.80%	-42.50%
	2100	927,283	1,321,379	1,785,021
		-34.70%	-49.40%	-66.80%
RCP8.5	2030	695,462	765,009	1,112,740
		-26.00%	-28.60%	-41.60%
	2050	765,009	927,283	1,275,015
		-28.60%	-34.70%	-47.70%
	2100	1,182,287	1,506,836	2,225,481
		-44.20%	-56.40%	-83.20%

Tabla 10. Pérdida de valor en miles de euros y en %

2.3.4. Dimensión urbana

Otro de los elementos relevantes en entornos urbanos turísticos son los sistemas de drenaje, ya que son esenciales para gestionar las precipitaciones y prevenir las inundaciones urbanas.

Sin embargo, en muchos entornos costeros esos sistemas de drenaje son antiguos y no se han considerado en su diseño los efectos del cambio climático como la subida del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos extremos, que cada vez ponen más a prueba la capacidad y funcionamiento de estos sistemas.

Este es el caso del sistema de drenaje actual de Cala Millor, que se diseñó para hacer frente a tormentas de lluvia con un periodo de retorno de 10 años, cuando actualmente la Instrucción de Carreteras 5.1-IC indica que deben realizarse para 25 años, sin considerar los efectos de la subida del nivel del mar y las tormentas de olas en las salidas del sistema.

Por este motivo en Fernández-Mora, A. et al. (2025) se ha desarrollado una metodología para evaluar cómo los efectos compuestos de las tormentas, las precipitaciones y el aumento del nivel del mar afectan a la red de drenaje de Cala Millor, con el fin de proponer medidas de adaptación al cambio climático que tengan en cuenta ese diseño del sistema desactualizado. Se remite al lector a dicho informe para conocer los detalles de la metodología, las hipótesis de trabajo asumidas, así como los resultados para cada uno de los escenarios.

Los trabajos realizados en el citado estudio se reflejan que ciertas secciones de la red ya trabajan en la actualidad a carga máxima cuando se considera la influencia del oleaje, generando inundaciones parciales. Además, si se somete el sistema de drenaje actual de forma simultánea a los eventos extremos de precipitación y oleaje, ya en 2030 la red alcanza su capacidad, causando interrupciones a lo largo del paseo marítimo y la plaza central bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Estas perturbaciones podrían afectar a la red aguas arriba, dando lugar a posibles encharcamientos en las zonas de las calles afectadas.

4. Pasos previos a la definición de las medidas adaptación: diagnóstico y objetivos

Una vez caracterizada la situación actual y futura de Cala Millor, el primer paso para definir las soluciones a los problemas identificados y proponer medidas o estrategias de adaptación es elaborar un diagnóstico de la situación actual y futura.

Este diagnóstico debe ser un diagnóstico integrado que recoja los resultados del análisis del riesgo de erosión e inundación identificados en la zona de estudio, el análisis de gobernanza y el análisis de percepción de los problemas, tal y como se indica en la Figura 76. Este diagnóstico integrado permite identificar cuáles son las temáticas clave y las cuestiones críticas a las que se debe dar respuesta, las cuales permiten definir los objetivos de adaptación (WP4 Tarea 4.1).

Estos objetivos definen qué se quiere lograr con las medidas y estrategias que se propongan y éstas dos últimas indican cómo se quiere lograr.

En el contexto de este proyecto, para definir esas estrategias y medidas de adaptación, en primer lugar, se ha elaborado un catálogo preliminar de medidas (WP4 Tarea T4.2) con base en los resultados del riesgo de erosión e inundación.

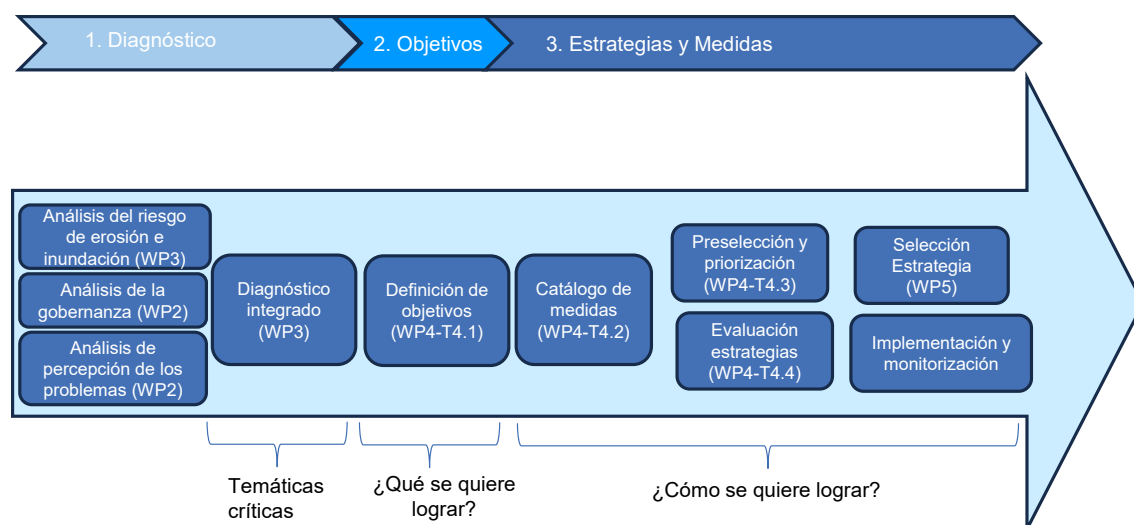


Figura 76. Procedimiento para la definición de medidas y estrategias de adaptación frente al cambio climático.

Este primer catálogo con medidas agrupadas en función de su naturaleza (natural, basada en la naturaleza, estructurales y no estructurales) y dimensión (física, ambiental, socioeconómica y urbana), se ha debatido entre los socios en varias reuniones y con el grupo de trabajo (7 de marzo y 12 de junio de 2025). Lo que ha dado lugar a un nuevo conjunto de medidas las cuales se han analizado en función de unos condicionantes técnicos, ambientales, jurídicos, etc., con el fin de definir unas estrategias integradas para Cala Millor (WP4 Tarea 4.3).

Estas estrategias serán evaluadas en la siguiente etapa del proyecto para conocer su capacidad de reducir el riesgo frente al cambio climático (WP4 Tarea 4.4), lo cual

facilitará posteriormente la selección de la estrategia más adecuada para Cala Millor (WP5).

Por último, ya fuera del alcance del presente proyecto, se implementará y monitorizará la solución que se diseñe en este estudio.

A continuación, se resumen el diagnóstico integrado que ha motivado los objetivos de adaptación definidos para la adaptación de Cala Millor.

4.1. Diagnóstico integrado

Con base en los estudios anteriores, en el presente apartado se realiza un diagnóstico de la situación actual y futura de Cala Millor desde el punto de vista físico, ambiental, urbano y socioeconómico.

Del análisis del balance sedimentario de los últimos años se concluye:

- La distribución del sedimento en la zona de estudio presenta una gran variabilidad, que depende de la dirección e intensidad de los oleajes incidentes y de las barras existentes en la zona.
- Esto hace que el balance sedimentario de la playa varíe de un año a otro, con años en los que se produce una acumulación y otros que se produce una pérdida de arena del ámbito monitorizado (variación entre -183 000 m³ y 52 000 m³)
- No obstante, el balance global en periodos multianuales (varios años) es una pérdida neta de arena: -94 000 m³ en el periodo 2017-2022 y unos 53 000 m³ en el periodo 2011-2022.
- No es posible determinar con certeza el déficit global de sedimentos ni su localización debido a las limitaciones de las campañas de monitorización, pero los indicios apuntan que el sedimento no se pierde, sino que permanece en la bahía en regiones adyacentes, ya sea cerca de Punta de n'Amer o frente a Cala Bona.
- La hipótesis de la pérdida de arena hacia Cala Bona es compatible con las corrientes asociadas a los temporales del SE y SSE y también con los testimonios de algunas personas que conocen la zona que indican que ha aparecido una acumulación de arena al norte del ámbito de estudio hacia Cala Bona, cuando la naturaleza del fondo marino en la zona de Cala Bona es rocosa, según la información disponible en el visor del Instituto Español de Oceanografía.
- Por lo tanto, la playa de Cala Millor no se encuentra actualmente en equilibrio estático.

Del análisis de la evolución de la línea de costa de los últimos años se concluye:

- La línea de costa y de la anchura de la playa seca presentan una variabilidad importante, debido a la dinámica de las barras y los cambios en el balance sedimentario asociados a los temporales de oleaje y la presencia de las barras.
- No obstante, la anchura de playa seca presenta una tendencia general decreciente, aunque aún tiene una anchura media del orden de la existente en

1956 (unos 30 m), antes de la transformación de Cala Millor como consecuencia de la urbanización de la zona.

- Especialmente:
 - Los mayores retrocesos, se observan en la zona de s'Estanyol d'en Roig, donde la anchura de playa ha presentado una gran variabilidad desde 2011 (entre 25 y 70 m), con una tasa media de retroceso del orden de 1.6 m/año. No obstante, en la actualidad, esta zona sigue siendo la que tiene mayor anchura de playa seca con un valor superior a 30 m.
 - Al Norte de Cala Nau, entre las calles Golf y Borneo, también se observa un gran retroceso medio anual (1.74 m/año). Esta zona suele presentar una gran variabilidad en función del oleaje incidente y suelen aparecer afloramientos rocosos. No obstante, la anchura de playa actual en esa zona es superior a 20 m.
 - Al Sur de la zona central, entre las calles Flamenc y Rosella, la playa varía entre 10 y 20 m con una tasa de retroceso de unos 0.75-1 m/año y, además suelen aparecer afloramientos rocosos, por lo que constituye una zona crítica desde el punto de vista de erosión.
 - La zona más crítica se encuentra en el extremo Norte de la playa, donde se observa una tasa de retroceso entre 1 y 1.30 m/año y, además la playa seca ya es estrecha en la actualidad, sobre todo a partir de carrer de Binicanella, donde la anchura de playa inferior a 10 m.

En cuanto al sistema de drenaje, en la actualidad, algunas secciones alcanzan su carga máxima durante los temporales de oleaje inundándose parcialmente esas zonas.

Respecto a los hábitats existentes:

- El sistema dunar ha perdido más del 99% de su extensión original desde 1956 y está muy degradado, en un ámbito urbanizado y desconectado de la dinámica natural de playa.
- El crecimiento vertical de *Posidonia oceanica* muestra una reducción gradual de la capacidad de adaptación vertical de la planta a lo largo de las décadas.

Desde el punto de vista de gobernanza, en el segundo paquete de trabajo del proyecto (WP2 *Governance framework: Stakeholders & Citizens' engagement at Cala Millor*) Pericàs-Palou, et al. (2024) han entrevistado a 50 personas de 18 entidades de la administración pública y han identificado los siguientes problemas:

- Falta de experiencia en la gestión y adaptación a largo plazo frente al cambio climático debido a que la mayoría de las personas entrevistadas habían trabajado en su entidad menos de 5 años.
- Necesidad de mejorar las explicaciones de los términos científicos para la comunicación efectiva de conceptos técnicos relevantes en el contexto del cambio climático y la adaptación.
- Falta de conocimiento detallado sobre los efectos locales del cambio climático y sus consecuencias en Cala Millor.

- Necesidad de información sobre medidas de adaptación específicas y viables para su implementación en Cala Millor.
- Necesidad de hacer hincapié en la posibilidad de considerar el retranqueo de la línea de costa como una medida para la adaptación de Cala Millor.
- Falta de consenso y comprensión sobre las mejores prácticas para la gestión de las playas y los beneficios ecológicos de dejar estos materiales en su lugar.

Se prevé que estos problemas se vean agravados como consecuencia de los efectos del cambio climático: aumento del nivel medio del mar, aumento de la temperatura del agua del mar y la temperatura ambiente.

En particular, se espera que:

- Se produzca una pérdida de playa seca entre el 20 y 45% en 2050 y entre 30 y el 95% en 2100 según escenario debido a la inundación permanente. De tal modo, que en 2100 sólo se espera que exista una playa con suficiente anchura en la zona central y un tramo de Cala Nau. Esta reducción de la anchura de la playa, además de disminuir la capacidad de protección que ejerce la playa en su trasdós, al ser un entorno urbano turístico conlleva la pérdida de los servicios ecosistémicos asociados a la playa e implicaciones socioeconómicas relevantes si no se adoptan medidas de adaptación.
- La inundación sea más extensa durante los temporales de oleaje según escenario y año horizonte: entre 78 200 m² y 101 900 m² en 2050, y entre 101 200 m² y 240 500 m² en 2100, según el escenario y el percentil seleccionado. En cualquier caso, durante los temporales toda la playa permanece inundada y la inundación llega a afectar al paseo marítimo y primera línea de playa. La inundación esperada en el 2050 frente al evento extremo es similar a la actual, con problemas en las mismas zonas (principalmente carrer Golf y desde la zona central hasta Sol Naixent) y alcanzando las primeras calles. Sin embargo, la inundación prevista para 2100 es mucho más extensa, alcanzando varias calles del interior, sobre todo en la zona central y desde dicho sector hacia el Norte. También aumenta en la zona de carrer Golf.
- El sistema de drenaje alcance su capacidad, causando interrupciones a lo largo del paseo marítimo y la plaza central bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para 2030, produciéndose posibles encharcamientos en las calles afectadas.
- Se produzca una gran disminución de la densidad de la pradera de posidonia en 2050 por el aumento de la temperatura y que desaparezca en el año 2100 en los dos escenarios climáticos considerados.
- Se produzca una pérdida de valor de la zona del 25%-83% (según escenario) por el aumento temperatura ambiente y la pérdida de arena

A la vista del diagnóstico actual y futuro se han identificado seis **temáticas críticas** a abordar a la hora de proponer objetivos estratégicos y medidas de adaptación al cambio climático:

- 1) Ocupación del DPMT.
- 2) Efectos del cambio climático.
- 3) Desequilibrio sedimentario.
- 4) Conservación del medio natural costero.

- 5) Sobrecarga sistemas de drenaje.
- 6) Cambios en el sistema socioeconómico.

Además, se han identificado las siguientes **materias transversales de interés**:

- Disponibilidad de información
- Capacitación y adquisición de conocimientos
- Marco de gobernanza

Con base en estas temáticas críticas y materias transversales el equipo de trabajo constituido por representantes de las distintas entidades socias ha definido un conjunto de objetivos estratégicos y específicos para Cala Millor, los cuales se describen en el siguiente apartado.

4.2. Definición de objetivos estratégicos y específicos

Previo a la definición de las medidas de adaptación para la costa de Cala Millor es fundamental establecer unos objetivos cualitativos y cuantitativos de adaptación, con base en los riesgos previamente identificados y el diagnóstico integrado.

Estos objetivos deben establecerse en términos de reducción del riesgo o aumento de la resiliencia en el futuro, considerando las posibles trayectorias del riesgo, en función de los escenarios considerados, en el horizonte temporal establecido.

En el contexto de adaptación al cambio climático, se entiende por **objetivos estratégicos** a aquellas metas **generales** que se quieren alcanzar en **el largo plazo** para la adaptación al cambio climático. Suelen estar alineados con políticas nacionales o internacionales y buscan guiar la dirección general de las acciones de adaptación. **Se centran en el "qué" se quiere lograr** en un horizonte más extenso.

En cambio, los **objetivos específicos de adaptación** son más **concretos y detallados**, y se enfocan en **acciones particulares** que contribuyen a alcanzar los objetivos estratégicos. Son medibles y tienen un plazo definido. Por ejemplo, reducir la vulnerabilidad de una comunidad a inundaciones en un periodo de cinco años.

En el marco del presente trabajo se han definido estos objetivos con base en el diagnóstico integrado derivado de la evaluación del riesgo y considerando los objetivos establecidos en otros documentos de referencia a nivel regional, nacional e internacional como, por ejemplo, el *"Plan Estratégico Nacional de Protección del Litoral teniendo en cuenta los efectos del cambio climático"*, la *"Estrategia para la protección del litoral en las Islas Baleares, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático"*, el *"Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030"* y el *"Libro Verde sobre la Sostenibilidad Urbana y Local en la Era de la Información"*.

De este modo, se ha garantizado que los objetivos propuestos están en consonancia con lo definido por las partes interesadas y los gestores de la costa a nivel nacional y regional, facilitando su aceptación.



Figura 77. Algunas de las fuentes consultadas para la definición de los objetivos estratégicos y específicos.

En concreto, se han definido 8 objetivos estratégicos los cuales se muestran en la Tabla 11. Dos de estos objetivos constituyen ejes transversales (5 y 6 en la tabla), dado que están relacionados con las materias transversales de interés mencionadas en el apartado anterior.

Estos objetivos estratégicos definen los objetivos generales a alcanzar a largo plazo para la adaptación al cambio climático, y cada uno de ellos integra objetivos específicos de adaptación (más concretos y detallados), que se centran en las acciones particulares que contribuyen a alcanzar estos objetivos estratégicos.

En el Anexo I. Objetivos estratégicos y específicos se recopilan los objetivos estratégicos junto a sus correspondientes objetivos específicos. Además, también se indica su relación con los ejes transversales y si el objetivo es aplicable sólo a Cala Millor

o a cualquier playa urbana, dado que la replicabilidad de este estudio en otras playas urbanas es uno de los fines del proyecto.

Objetivos estratégicos

1. Liberación del DPMT
2. Mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo
3. Mejora de la biodiversidad y resiliencia
4. Restablecimiento del balance sedimentario
5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública (TRANSVERSAL)
5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar
5.2. Mejora de la comunicación y participación
6. Fortalecimiento de la capacidad de entender (TRANSVERSAL)
6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)
6.2 Mejora del estado del arte relativo a la protección de la costa (Conocimiento)
6.3 Capacitación y educación
7. Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos
8. Mejora de la gestión integral del ciclo del agua

Tabla 11. Objetivos estratégicos.

A continuación, se definen brevemente los objetivos seleccionados.

4.2.1. Liberación del Dominio Público Marítimo-Terrestre

La rigidización de la costa en los años 60-70 como consecuencia de la construcción del paseo marítimo y la ocupación del frente litoral con fines turísticos en los siguientes años, han reducido considerablemente la capacidad natural de la playa a hacer frente a los temporales de oleaje y a las consecuencias del cambio climático.

La evaluación del riesgo llevado a cabo en el marco de este proyecto ha reflejado que en los próximos años va a aumentar la extensión de la zona inundada, llegando a afectar al paseo marítimo, primera línea de playa e incluso zonas interiores en función del escenario considerado, afectando a las infraestructura, servicios y negocios próximos a la playa.

En este sentido, la **liberación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT)** contribuye de forma esencial a una gestión racional de la **exposición frente a la erosión costera**, con la finalidad de **favorecer la resiliencia** de la costa por medio de una **mayor naturalidad** en la franja costera y en consonancia con usos del suelo compatibles con las amenazas costeras existentes, todo ello conforme a la legislación vigente y a través de un proceso ordenado de retirada de la costa.

Para alcanzar este fin, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Reducir las consecuencias del medio físico cambiante en la situación actual y en el largo plazo.

- Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre las ocupaciones del DPMT con título vigente.
- Reducir la presión de las ocupaciones del DPMT sobre el sistema costero.
- Potenciar la experiencia en implementación de medidas de liberación del DPMT.

4.2.2. Mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo

Uno de los principales objetivos de la adaptación al cambio climático en todas las estrategias es reducir el riesgo en el futuro. Para ello es preciso definir un umbral de variación en el nivel de riesgo y/o consecuencias aceptables para un horizonte temporal.

En este caso, en línea con lo establecido en la “Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española se propuesto como objetivo el **mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo** considerando como **periodo base el actual en el año horizonte**.

En cuanto al año horizonte, en una primera instancia, se decidió mantener el nivel de riesgo actual en 2100, dado que el objetivo del *D4.2 Integrated adaptation strategies for Cala Millor* es la definición de una serie de estrategias integradas para la adaptación de la zona de estudio en 2100.

Por este motivo, las medidas y estrategias integradas propuestas en el citado documento se han conceptualizado con base en los resultados del riesgo en 2100.

Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto y, en especial durante el taller del 12 de junio de 2025, en el que se debatió sobre las estrategias integradas propuestas con las partes interesadas representadas por el grupo de trabajo, surgió la necesidad de dimensionar las soluciones para un año horizonte más cercano como 2050.

De este modo, mientras se estudian otro tipo de soluciones, se pueden proponer medidas más coherentes con la evolución científica-tecnológica existente en el momento sin ser demasiado intensas ahora o requerir soluciones estructurales.

Este cambio en el año horizonte, se tendrá en cuenta en el diseño de las estrategias en próximas etapas del proyecto.

Independientemente del año horizonte, para alcanzar el objetivo de mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo considerando como periodo base el actual en el año horizonte, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el medio antrópico costero en la situación actual.
- Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión e inundación en el medio antrópico costero en el largo plazo.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad asociada a eventos erosivos en el largo plazo.
- Impulsar los servicios ecosistémicos del medio natural costero.

- Corregir la falta de información sobre la peligrosidad de erosión e inundación combinadas.

4.2.3. Mejora de la biodiversidad y resiliencia

Dado que la zona de estudio se encuentra en una zona LIC y próxima a una ZEC, el siguiente objetivo estratégico es la **Mejora de la biodiversidad y la resiliencia**.

Este objetivo está encaminado en conservar y proteger los ecosistemas costeros frente a las amenazas globales y locales mitigando los impactos naturales y humanos a largo plazo, con la finalidad de **favorecer la resiliencia** de la costa por medio de una **mayor naturalidad** en la franja costera y en consonancia con usos del suelo compatibles con las amenazas costeras existentes.

Para alcanzar tal fin se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.
- Reducir la presión del medio antrópico.
- Reducir la presión de las actividades humanas.
- Potenciar la experiencia en rehabilitación ambiental de las playas, sus dunas y en estabilización de acantilados.
- Corregir la falta de información y conocimientos sobre los servicios ecosistémicos del medio natural costero.
- Impulsar los servicios ecosistémicos del medio natural costero
- Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.
- Reducir la presión del medio antrópico.
- Reducir la presión de las actividades humanas.
- Potenciar las figuras de protección ambiental.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión e inundación en el medio antrópico costero en el largo plazo.
- Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad asociada a eventos erosivos en el largo plazo.
- Potenciar la experiencia en rehabilitación ambiental de las playas, sus dunas y en estabilización de acantilados.
- Renaturalizar y aumentar la resiliencia mediante el aumento de la superficie de suelo capaz de sostener vegetación.
- Priorizar la conservación de las especies endémicas, especies incluidas en los catálogos de especies amenazadas o protegidas a nivel internacional que son propias de los ecosistemas marinos, costeros y estuarinos.

- Considerar la presencia de fauna como aves e invertebrados y crear espacios adecuados para su refugio, anidación y reproducción.
- Proponer soluciones de diseño que reduzcan el efecto isla de calor en el espacio público y permitan una mejor adaptación al incremento de las temperaturas.
- Preservar aquellos valores geomorfológicos, identificadores y característicos del paisaje litoral, así como trabajar para que los espacios públicos sean cercanos, identificables y referentes, tanto físicos como simbólicos, para toda la ciudadanía.
- Impulsar una cultura de gestión de la costa inclusiva y colaborativa.

4.2.4. Restablecimiento del balance sedimentario

El desmantelamiento del cordón dunar para la construcción del paseo marítimo y la ocupación del frente litoral con fines turísticos partir de 1968, la costa se ha rigidizado reduciendo considerablemente su resiliencia a la erosión, haciéndola especialmente vulnerable al cambio climático.

Durante muchos años se han llevado a cabo regeneraciones de la playa para paliar la erosión durante los temporales de oleaje y disponer de una playa lo suficientemente ancha durante el verano para satisfacer la demanda turística. Sin embargo, dichas regeneraciones no han sido efectivas por su durabilidad y, en ocasiones, los finos generados han llegado a afectar a la *Posidonia oceanica*, según los aportes realizados por las partes interesadas durante el taller del 12 de junio de 2025. Además, durante dicho evento, salió a colación la dificultad de encontrar una fuente de arena para llevar a cabo las regeneraciones sin afectar a la fanerógama.

Por este motivo, se propone como objetivo estratégico el **Restablecimiento del balance sedimentario** que, como su propio nombre indica, tiene como fin el restablecer el **balance sedimentario** modificado actualmente por la **disrupción antrópica**.

Para ello se proponen como objetivos específicos los siguientes:

- Reducir las consecuencias de la disrupción antrópica de la deriva litoral de sedimentos.
- Corregir la falta de información relativa a fuentes de sedimento de aportación.

4.2.5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública

Otro de los objetivos estratégicos en línea con el análisis de la gobernanza realizado en el WP2 y con el “*Plan Estratégico Nacional de Protección del Litoral teniendo en cuenta los efectos del cambio climático*” es la **Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública**.

Este objetivo transversal está centrado en la mejora de la **coordinación institucional** y los procedimientos relacionados con la **toma de decisiones** y la **implementación de medidas** de gestión de la costa en el marco de las competencias de las administraciones públicas. Para ello se propone centrar los esfuerzos en el

Fortalecimiento de la capacidad de planificar y en la Mejora de la comunicación y participación.

En este caso los objetivos específicos son los siguientes:

- Potenciar la capacitación del personal de la administración pública.
- Potenciar la planificación estratégica para la protección de la costa con base en el mejor conocimiento científico-técnico.
- Impulsar una cultura de gestión de la costa inclusiva y colaborativa.
- Corregir la falta de información y conocimientos sobre los servicios ecosistémicos del medio natural costero.
- Reducir las consecuencias de las actuaciones para la conservación del medio natural sin fundamento adecuado.
- Impulsar la monitorización de los impactos tras eventos erosivos.
- Impulsar la adquisición de fondos de contingencia adicionales.
- Actuar sobre el entorno urbano de las ciudades para fomentar la actividad física y mejorar la salud física y mental de la población a través del establecimiento de itinerarios saludables, así como asegurar que los espacios se conviertan en puntos de encuentro.
- Ordenar los usos del paseo marítimo para evitar una saturación de los espacios turísticos y salvaguardar la relación residente-turista
- Identificar los elementos del patrimonio cultural más vulnerables al cambio climático y definir posibles estrategias de adaptación.

4.2.6. Fortalecimiento de la capacidad de entender

Otro de los ejes transversales identificado en el análisis de la gobernanza realizado en el WP2 y con el “*Plan Estratégico Nacional de Protección del Litoral teniendo en cuenta los efectos del cambio climático*” es el **Fortalecimiento de la capacidad de entender**, emprendiendo acciones encaminadas a mejorar los conocimientos del entorno costero y los procesos que lo moldean.

Para ello se propone centrar los esfuerzos en 1) el **Obtención y gestión de información** (Monitorización), 2) en la **Mejora del estado del arte relativo a la protección de la costa** (Conocimiento) y 3) en la **capacitación y educación**.

Este objetivo está relacionado con los siguientes objetivos específicos:

- Potenciar la capacitación del personal de la administración pública.
- Potenciar la planificación estratégica para la protección de la costa con base en el mejor conocimiento científico-técnico.
- Corregir la falta de información y conocimientos sobre los servicios ecosistémicos del medio natural costero.
- Reducir las consecuencias de las actuaciones para la conservación del medio natural sin fundamento adecuado.
- Impulsar la monitorización de los impactos tras eventos erosivos.

- Identificar los elementos del patrimonio cultural más vulnerables al cambio climático y definir posibles estrategias de adaptación.

4.2.7. Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos

Dado que el turismo es el principal motor de la economía de Cala Millor y que se esperan grandes pérdidas en el futuro como consecuencia de la pérdida de playa y el aumento de la temperatura ambiente, otro de los objetivos estratégicos seleccionado es el **Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos**. Este objetivo consiste en emprender acciones encaminadas a mantener o mejorar los recursos socioeconómicos como el turismo de forma sostenible.

Para alcanzar tal fin se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

- Impulsar la monitorización de los impactos tras eventos erosivos.
- Corregir la falta de información relativa a las consecuencias del cambio climático sobre el sector socioeconómico.
- Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.
- Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.
- Corregir el deterioro del estado de mantenimiento y conservación de la costa previo al evento erosivo.
- Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.
- Mantener o mejorar el nivel de renta y empleo de los residentes.
- Impulsar la reconstrucción mejorada tras eventos erosivos.
- Reducir las consecuencias sobre las infraestructuras públicas.
- Potenciar la experiencia en construcción y demolición de estructuras para la protección de la costa.
- Impulsar una movilidad descarbonizada a nivel insular que priorice el transporte público colectivo.
- Fomentar una movilidad activa que se base en los desplazamientos peatonales y ciclables, relegando el vehículo privado a un segundo plano mediante aparcamientos disuasorios que permitan liberar parte del espacio público.
- Proponer una materialidad que no favorezca el efecto isla de calor, permita una disminución de la temperatura y facilite los usos en el espacio público.
- Mejorar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático en la demanda de energía e identificar medidas para evitar o limitar los picos de demanda, especialmente los asociados al calor.
- Garantizar la accesibilidad universal en las actividades que se llevan a cabo en el espacio público, la playa y el mar y la eliminación de barreras arquitectónicas.
- Actuar sobre el entorno urbano de las ciudades para fomentar la actividad física y mejorar la salud física y mental de la población a través del establecimiento de

itinerarios saludables, así como asegurar que los espacios se conviertan en puntos de encuentro.

- Ordenar los usos del paseo marítimo para evitar una saturación de los espacios turísticos y salvaguardar la relación residente-turista.

4.2.8. Mejora de la gestión integral del ciclo del agua

Uno de los problemas identificados en el área de estudio es la gestión de las aguas de pluviales mediante el sistema de drenaje, que en la actualidad el sistema de drenaje ya presenta problemas de carga máxima durante los temporales de oleaje. Además, se espera que la situación se agrave con el cambio climático en 2030, debido a que se ha diseñado para un periodo de retorno de 10 años y no se ha considerado el efecto combinado de los eventos extremos de precipitación con los de oleaje y el aumento del nivel medio del mar debido al cambio climático.

Por este motivo, se ha propuesto como objetivo estratégico la **Mejora de la gestión integral del ciclo del agua**, que consiste en la mejora de los cursos de agua que intervienen en el ciclo integral del agua mediante infraestructuras grises o verdes con el fin de garantizar su eficiencia y sostenibilidad.

Para ello se han propuesto los siguientes objetivos estratégicos:

- Renaturalizar los cursos fluviales y proteger y fortalecer las zonas húmedas.
- Integrar todas las redes de drenaje en una lógica conjunta y sistémica de gestión integral del ciclo del agua, incorporando SUDS y sistemas de drenaje naturalizados, aliviaderos y sistemas para tratar y regenerar el agua.
- Introducir la lógica circular a la hora de diseñar los sistemas de recogida de aguas, riego y distribución de agua potable para conseguir un mayor índice de regeneración y recuperación de agua.
- Incorporar la inundabilidad marítima, fluvial y urbana en el diseño del espacio público, convirtiéndola en un elemento modelador del proyecto y consiguiendo reducir sus impactos negativos en el sistema urbano.
- Aumentar la superficie permeable mediante superficies vegetadas o pavimentos drenantes para conseguir una mayor infiltración de agua en el suelo, reduciendo las avenidas y retornando agua al acuífero.

5.1. Introducción: tipos de medidas y estrategias

Una vez caracterizado Cala Millor en el contexto actual y futuro, elaborado un diagnóstico y definidos los objetivos de adaptación, se han consultado distintas fuentes de información regionales, nacionales e internacionales, como la “Estrategia para la protección del litoral en las Islas Baleares, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático”, el “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030” y el “Libro Verde sobre la Sostenibilidad Urbana y Local en la Era de la Información”, para proponer distintas medidas de adaptación en playas urbanas y, en particular, en Cala Millor.



Figura 78. Nube de medidas de adaptación.

Las medidas pueden ser de muchos tipos y naturaleza, por lo que, para facilitar su comprensión y conocer en qué circunstancias se deben emplear unas u otras se han clasificado desde distintos puntos de vista.

En cuanto a su naturaleza o tipo de componente, las medidas se han agrupado en:

- **Medidas naturales:** hacen referencia a aquellos subsistemas naturales o ecosistemas que prestan los servicios ecosistémicos necesarios para contribuir a la reducción del riesgo. Como tal, evolucionan en el tiempo a partir de acciones

físicas, biológicas y geológicas, así como por los procesos químicos que operan en la naturaleza. Las estructuras naturales costeras pueden tomar infinitas formas y entre ellas se encuentran, por ejemplo, los arrecifes, las islas-barrera, dunas, las playas, los humedales y las fanerógamas marinas.

- Medidas basadas en procesos naturales: las medidas basadas en la naturaleza surgen de una intervención humana realizada por medio de la ingeniería, la construcción o restauración, así como el trabajo con los propios procesos naturales. Al igual que las naturales aportan un sinnúmero de beneficios, tanto para los ecosistemas como para la protección de las costas. Son unas medidas que funcionan de modo análogo a como lo hacen las naturales. Algunos ejemplos de ellas son las escolleras vivas, los sistemas de drenaje urbanos sostenibles, la alimentación o regeneración de playas, etc.
- Medidas estructurales: Las medidas estructurales son medidas físicas, generalmente basadas en las estructuras tradicionales de disminución de la erosión y la inundación, así como la reducción de la energía del oleaje. Estas medidas incorporan los avances de la tecnología para proporcionar una mayor adaptabilidad de estas estructuras a los procesos dinámicos costeros, lo que permite pasar de estructuras duras a semiduras, de fijas a móviles, y de monofuncionales a multifuncionales. Dentro de esta categoría se encuentran los diques, los espigones, los muros aterrazados, etc.
- Medidas no estructurales: son las concebidas para complementar el resto y operan en relación con aspectos sociales, de gobernanza, regulación o económicas y están destinadas, principalmente a reducir la exposición y la vulnerabilidad de las comunidades. Aquí se incluyen también todas las disposiciones dirigidas a facilitar procesos de mejora y de equidad social frente a los riesgos. Esta categoría abarca un amplio abanico de medidas como los sistemas de alerta temprana, las políticas de retroceso estratégico, las medidas de concienciación, etc. Dentro de estas últimas cabe resaltar las medidas implementadas en el marco de este proyecto, las cuales se resumen en el *“Informe técnico Tarea 2.2.3. Awareness Campaigns: Local Associations”* (Pericàs-Palou, 2025), entre las que cabe destacar la elaboración de material divulgativo como un cuento ilustrado “Saltar las olas” (Figura 80) para acercar la problemática del cambio climático a la sociedad.

En este estudio, con el fin de identificar a qué categoría se corresponden las distintas medidas que se proponen se ha establecido un código de colores, tal y como se muestra en la Figura 79.

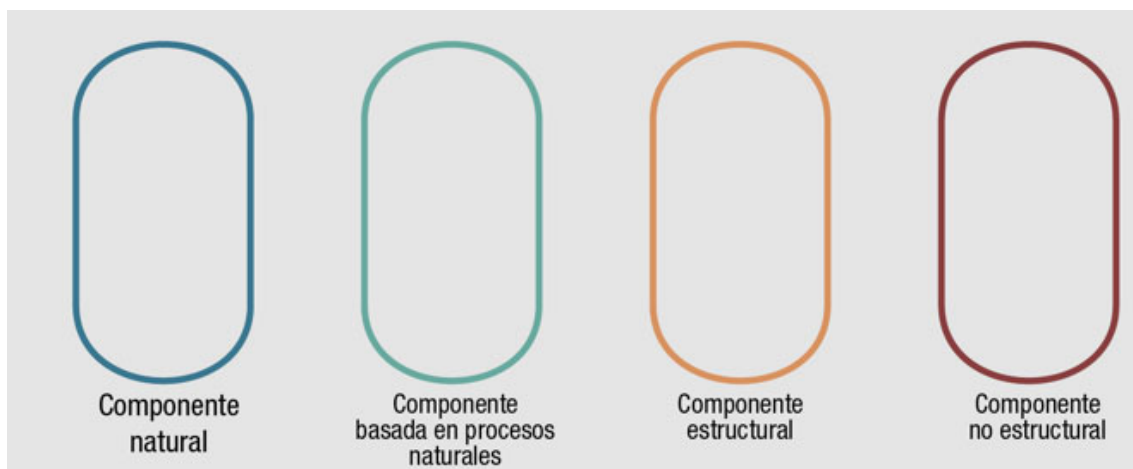


Figura 79. Código empleado para la identificación de la naturaleza de las medidas propuestas.



Figura 80. Portada y contraportada del cuento ilustrado "Saltar las Olas".

Por otro lado, también se han clasificado las medidas por su dimensión o temática la que se asocia:

- Física: relacionadas con los procesos físicos, elementos estructurales, como por ejemplo los diques, los muros aterrazados, piscinas de marea, etc.
- Ambiental: basadas en los ecosistemas como la restauración de dunas, las fanerógamas marinas, etc.
- Socioeconómica: centradas en dar respuesta a las necesidades de la sociedad y la economía del lugar, relacionadas con la educación, la información, el comportamiento, como por ejemplo las medidas de concienciación, los sistemas de alerta temprana.
- Urbana: relacionadas con la parte urbana, el paisaje como por ejemplo los refugios climáticos, los sistemas de drenaje urbano, parque litoral, etc.

En el siguiente capítulo se mostrarán las medidas seleccionadas para Cala Millor donde se indica la dimensión que le corresponde. En este caso no se ha establecido un código

para identificarlas de forma visual, porque algunas medidas dan respuesta a varias dimensiones.

Finalmente, dado que el objetivo último es integrar las medidas en una estrategia para todo el ámbito de estudio, también se han clasificado las medidas en función de su compatibilidad con las estrategias.

En ese sentido, las categorías de estrategias considerada en este estudio son las siguientes:

- **Inacción:** la opción más directa, la de no actuar. Consiste en la aceptación de las consecuencias de la inundación y la erosión, con su consecuente disminución o desaparición del ancho de playa.
- **Retroceso:** en este caso son medidas, principalmente de planificación urbanística y territorial, que buscan generar un espacio seguro para la inundación y proteger los activos mediante la reducción de la exposición a través de un retranqueo de éstos. Dentro de esta tipología se encuentra:
 - o *Planificación:* centrada en actuaciones de planificación y de gestión y ordenación del territorio.
- **Acomodación:** mediante esta estrategia no se busca tanto la confrontación entre tierra y mar, como la adaptación de este entorno al continuo contacto entre los distintos ecosistemas. Las distintas medidas se centran en generar una zona de transición en el litoral donde se puedan dar los intercambios oportunos y, de esta manera, mejorar la resiliencia del conjunto. Esta categoría se divide en:
 - o *Medidas no estructurales de prevención de riesgo:* conjunto de medidas vinculadas al marco socioeconómico de las comunidades costeras, fundamentalmente para paliar los efectos de las inundaciones.
 - o *Acomodación estructural:* intervenciones estructurales sobre los servicios existentes en la ciudad para adaptarlos a eventos extremos vinculados al litoral.
 - o *Acomodación con flora y fauna:* conjunto de medidas para generar nuevos hábitats o enriquecer los ya existentes
- **Protección:** el ecosistema costero tiene sus métodos naturales para protegerse ante los efectos del contacto entre la tierra y el mar. Debido a la antropización, la debilitación ecológica del litoral y la creciente amenaza del cambio climático, es necesario reforzar estas protecciones o generar nuevas en aquellos casos en los que hayan desaparecido por completo. Dentro de esta categoría, se han considerado dos tipos:
 - o *Refuerzo:* son aquellas componentes que se adhieren a una protección existente, en estado de deterioro o que se han vuelto insuficientes.
 - o *Barrera:* estructuras que protegen el continente, las lagunas, los humedales y las marismas saladas de toda la fuerza del viento, las olas y la energía de las mareas.
- **Avance:** esta estrategia combate principalmente el riesgo de erosión en el litoral. Frente a esta amenaza se realiza un avance de la línea de la costa con el fin de estabilizar su perfil. Más allá de hacer frente al peligro, el beneficio de esta estrategia es el aumento del espacio público y suele utilizarse en situaciones

donde éste está muy demandado. En este caso se ha considerado dos tipos de avance:

- *Avance con estructuras*: obras de ingeniería que se adentran en el mar modificando la dinámica litoral.
- *Avance con sedimento*: componentes de avance, principalmente con arena, mediante alimentación o captación.

En la Figura 81 se muestran de forma esquemática los principales tipos de estrategias considerados en este estudio.

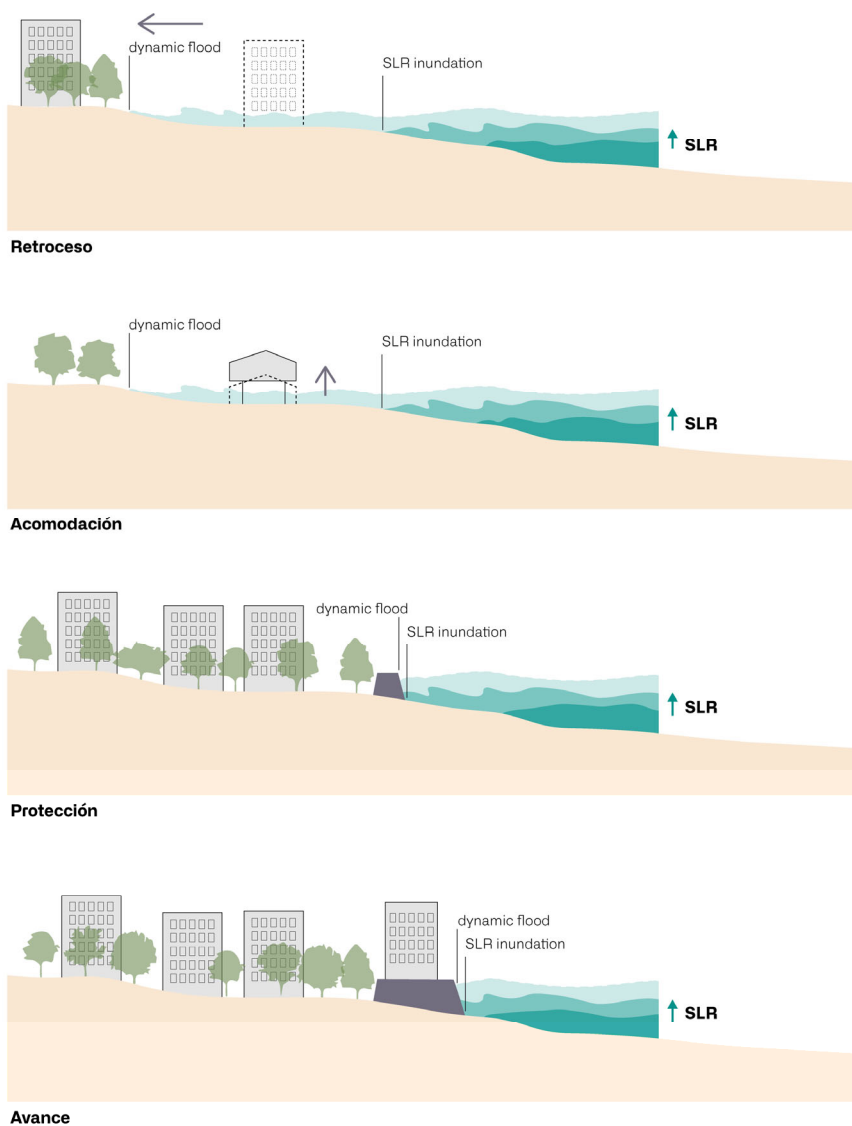


Figura 81. Tipos de estrategias.

5.2. Propuestas de medidas

Considerando el diagnóstico realizado con los resultados de erosión e inundación, se ha elaborado un primer catálogo de medidas de adaptación, el cual se muestra en la Figura 78.



Figura 82. Primer catálogo de medidas de adaptación agrupado en varias categorías: físicas, ambientales, socioeconómicas y urbanas.

Este primer catálogo engloba medidas físicas ambientales, socioeconómicas y urbanas y se han agrupado en función de su naturaleza (natural, basada en la naturaleza, estructurales y no estructurales) considerando el criterio de colores de la Figura 79.

Este conjunto de medidas se ha debatido entre los socios en varias reuniones y con el grupo de trabajo (7 de marzo Figura 83) y se han localizado sobre un mapa de Cala Millor para disponer de una visión global de todo el ámbito y, de este modo, ir pensando en la compatibilidad de las medidas entre sí para la definición de las estrategias integradas.

En este mapa se han identificado 5 tramos (A, B, C, D y E) con base en los problemas de erosión e inundación hallados en la evaluación del riesgo en el WP3 para tratar de asignar a cada tramo medidas que den respuesta a dichos problemas.

En la Figura 84 se muestran las medidas de adaptación por tramos identificadas por el grupo de trabajo durante el taller del 7 de marzo y en la Figura 85 las no estructurales, aplicables en principio a todo el ámbito de estudio.



Figura 83. Dinámica llevada a cabo durante el taller del 7 de marzo para la identificación de medidas de adaptación para Cala Millor.

En cuanto a las medidas no estructurales, cabe señalar que el marco del presente proyecto y en otras iniciativas previas ya se han implementado algunas de ellas.

Por ejemplo, las campañas de sensibilización dirigidas a la comunidad educativa, la sociedad civil, el sector empresarial, a visitantes, a personal del sector hotelero y a la ciudadanía en general. Se han diseñado talleres y recursos específicos para cada público objetivo como un juego o el cuento ilustrado mencionado anteriormente (Pericàs-Palou, 2025).

También, el grupo de trabajo creado en este LIFE, en las que están involucradas diferentes administraciones públicas ligadas a la planificación y gestión de la costa, constituye un instrumento de planificación específicos.

Por último, los estudios realizados hasta la fecha como el análisis de riesgo de Cala Millor frente al cambio climático, permiten la investigación de la resiliencia costera.



Figura 84. Identificación de medidas de adaptación por tramos. Resultado del taller del 7 de marzo de 2025.



1. Medidas de concienciación
2. Instrumentos de planificación específicos (LIFE)
3. Investigación de la resiliencia costera
4. Gestión de la movilidad
5. Mantenimiento de hábitats costeros
6. Sistemas de alerta temprana
7. Medidas de transferencia del riesgo
8. Minimización de riesgo y estudio de fanerógamas marinas (Posidónea oceánica)

Figura 85. Identificación de medidas no estructurales. Resultado del taller del 7 de marzo de 2025.

5.3. Evaluación de medidas

En este apartado se evalúan las necesidades y los condicionantes físicos, ambientales, jurídicos, etc. para el diseño de las medidas, con el fin de conocer su factibilidad o sus limitaciones a la hora de integrarlas en estrategias de adaptación para Cala Millor.

5.3.1. Condicionantes

5.3.1.1. Relacionados con los resultados del riesgo

Dado que en el análisis del riesgo se ha observado que los impactos y consecuencias previstos no son uniformes a lo largo de toda la zona, es preciso establecer cuáles son las necesidades concretas de cada zona para definir las medidas más adecuadas en cada caso.

Con base en los resultados de anchura de playa seca (Figura 69), la inundación permanente (Figura 68) y extrema (Figura 70), se ha dividido la zona de estudio en 6 tramos (A, B, C, D, E y F en la Figura 86, con una subdivisión en los tramos B y C (líneas discontinuas blancas), que atienden a comportamientos distintos respecto a la erosión y a la inundación respectivamente.

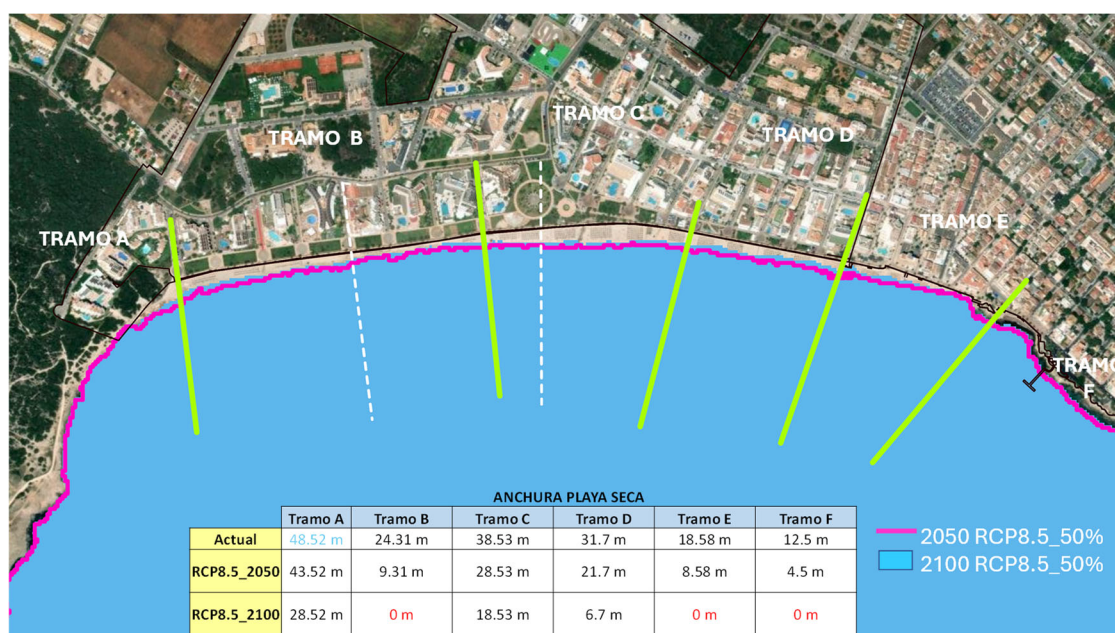


Figura 86. Inundación permanente y anchura de playa por tramos.

En la Figura 86 se ha representado la inundación permanente para los años horizonte 2050 y 2100 bajo el escenario de cambio climático RCP 8.5 (percentil del 50%). También se muestra una tabla con la anchura de playa seca actual y la futura asociada a dichos escenarios y años horizonte. En la que se observa que los tramos B, E y F constituyen zonas críticas desde punto de vista de erosión, ya que la anchura media en esos tramos es prácticamente nula.

Dado que el objetivo establecido en el marco de este trabajo es mantener en nivel de riesgo actual en el largo plazo, si se quiere mantener ese riesgo reduciendo la peligrosidad, habría que proponer medidas que permitan recuperar el ancho de playa perdido por efecto del cambio climático, como el retranqueo de la línea de costa o la aportación de arena. En la Tabla 12 se muestra la anchura de playa actual y los retrocesos estimados como la diferencia entre la situación actual y futura de la tabla de la Figura 86.

Por ejemplo, si se decidiese mantener el riesgo actual en el año 2100, por término medio las medidas que se llevasen a cabo en los tramos A, C y D deberían dar respuesta a un retroceso de unos 20 m, mientras que en el resto sería 25 m.

	Tramo A	Tramo B	Tramo C	Tramo D	Tramo E	Tramo F
Actual	A=48.52 m	A=24.31 m	A=38.53 m	A=31.7 m	A=18.58 m	A=12.5 m
2050	R=5 m	R=15 m	R=10 m	R=10 m	R=10 m	R=8 m
2100	R=20 m	R=25 m	R=20 m	R=25 m	R=20 m	R=25 m

Tabla 12, Anchura de playa seca actual (A) y retroceso estimado (R) bajo el escenario RCP 8.5 (percentil 50%).

En cuanto a la inundación extrema, como se ha visto, el oleaje inunda la zona más inmediata a la costa en la actualidad, pero que en el futuro se va a extender hacia el interior. Por lo que una de las posibles medidas para mantener en 2100 el riesgo actual sería recrecer el muro. Para estimar la cota que hay que recrecer el muro se obtenido la diferencia de cota de agua sobre el muro para los distintos tramos (véase tabla en la Figura 77). En la citada tabla, se ha indicado para cada tramo costero en valor medio y máximo de la cota de agua sobre el paseo con base en los resultados del WP3.

Las zonas críticas, desde aumento de columna de agua sobre el muro, son los tramos B, D, E y F, que requieren hasta un recrecimiento del muro de hasta 1.7 m en la zona Norte. En muro en la actualidad tiene 0.7 m respecto al paseo marítimo en esa zona, los que, si se quiere mantener el nivel de riesgo en 2100, se necesita un muro de 2.4 m respecto al paseo. Este recrecimiento no es aceptable por las implicaciones que podría tener en la trama urbana y el paisaje, así como desde el punto de vista socioeconómico.

Por lo que esta medida de recrecimiento del muro solo se debería llevar a cabo con otra medida que permita reducir esa cota.

Otra opción, sería asumir un riesgo mayor al existente actualmente, pero se estaría incumpliendo el objetivo estratégico de mantener el actual.

En cualquier caso, dado que el año 2100 es un horizonte muy lejano y gracias a los avances científico-técnicos es posible que existan otras alternativas en el futuro, la mejor opción es diseñar las medidas para un horizonte más próximo como 2050 (menos exigente, unos 0.55 m), mientras se investiga sobre otras técnicas/alternativas para los siguientes años.

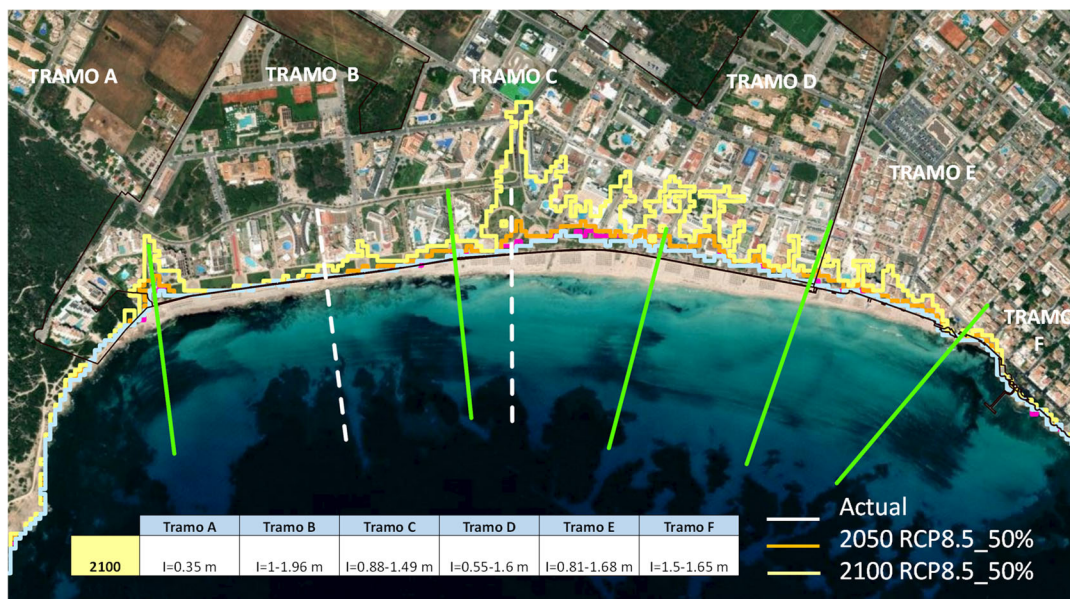


Figura 87. Inundación extrema para la situación actual y futura bajo el escenario RCP 8.5 y su correspondiente tabla con cotas de agua sobre el muro (valor medio y máximo).

Cabe señalar que los valores de retroceso y cota de agua sobre el muro dependen del escenario, año horizonte y percentil seleccionados, por lo que en las siguientes etapas del proyecto habrá que ir concretando estos aspectos para facilitar la toma de decisiones sobre la solución a implementar en Cala Millor.

En este contexto, los valores derivados de la erosión e inundación extrema condicionan las dimensiones de las medidas a adoptar.

5.3.1.2. Relacionados con el modelo de funcionamiento y la estabilidad de la playa

El análisis del balance sedimentario y los patrones de corrientes han revelado que la playa no se encuentra actualmente en equilibrio, sino que existe un transporte hacia Cala Bona.

Además, la línea de costa en Cala Nau presenta una gran variabilidad, reduciéndose la anchura de playa cuando las olas provienen del ESE aflorando el sustrato rocoso y aumentando la anchura de playa con los oleajes son del NE (Figura 88).

Por todo ello, si se desea disponer de una playa en equilibrio estático con una playa más estable o con menos variabilidad en la zona Sur, es preciso construir un elemento de contención al Norte (amarillo en la Figura 89) y otro al Sur (naranja) para dar respuesta a ambas necesidades respectivamente.

Con el fin de dotar de una mayor anchura de playa en la zona Sur para poder dar cabida a otras medidas como la construcción de un sistema dunar, como se comentará posteriormente, el elemento de contención del Sur podría tener una forma curva para

que generar una mayor anchura de playa en Cala Nau, como se muestra en la Figura 90. Nótese que dicha figura es un esquema ilustrativo, no se ha diseñado dicho elemento.

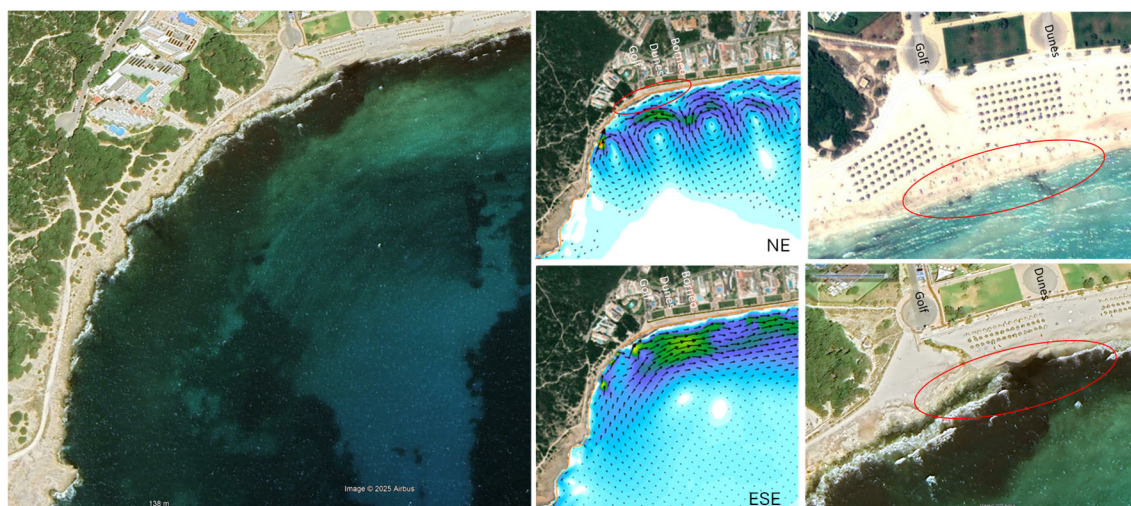


Figura 88. Variabilidad de la costa en Cala Nau (sector Sur se la playa).



Figura 89. Elementos de contención para la estabilización de la playa.

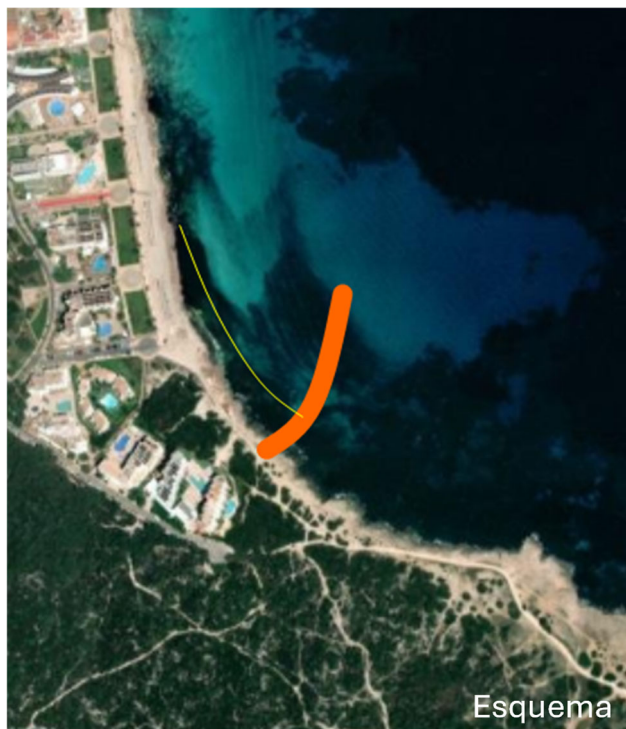


Figura 90. Esquema del elemento de contención curvo en la zona Sur para aumentar la anchura de playa.

Por otro lado, aunque este elemento de contención puede adoptar distintas formas, materialidad (aspecto más rocoso en lugar del tradicional, Figura 91), con revestimientos que permitan la colonización con especies (Figura 92) o albergar otros usos sociales para lograr una mayor integración en el paisaje, en el taller del 12 de junio surgió un debate sobre la idoneidad de esta actuación, debido a que:

- se encuentra en un entorno con figuras de protección (ZEC y LIC).
- no es una actuación estrictamente necesaria para la seguridad del entorno sino más bien para mejorar el ancho de playa con arena en la zona, cuando la naturaleza del entorno es rocosa.
- las medidas que se adopten deberían estar más orientadas a soluciones basadas en la naturaleza en línea con las estrategias más actuales y avanzadas y más teniendo en cuenta que es un proyecto LIFE.

Por todo ello, aunque esta medida se ha contemplado en las estrategias integradas del informe *D4.2 Integrated adaptation strategies for Cala Millor*, habrá que valorar en las siguientes etapas del proyecto si se debe incluir.

En el caso del elemento de la zona Norte, la situación es distinta, porque ya es un entorno más antropizado y es necesario para alcanzar un equilibrio estático, sin pérdidas de arena hacia el Norte.



Figura 91. Estructura tradicional frente a estructuras que mimetizan la naturaleza.



Figura 92. Piezas de hormigón ecológico que aumentan la biodiversidad en una estructura. Puerto de Vigo, 9 meses tras la instalación de las piezas. Fuente: EConcrete.

En la etapa de diseño de la solución habrá que definir algunas de las características de este elemento dependiendo de las necesidades físicas, ambientales, socioeconómicas y urbanas, como su longitud, su tipología, su cota, etc. No obstante, en las siguientes etapas del proyecto se definirán algunas de ellas para poder evaluar la reducción del riesgo (T4.4) y facilitar la toma de decisiones sobre la solución a adoptar (WP5).

Por ejemplo, el elemento se puede localizar en varios puntos del promontorio, en función de las posibles afecciones a la biocenosis, la necesidad de generar más o menos playa, el hacer coincidir el entronque con alguna calle o elemento de interés etc. (Figura 93).

Para garantizar que la playa esté en equilibrio estático, es necesario que el elemento alcance la profundidad de cierre, pero no toda la estructura tiene que estar emergida, sino que parte puede ir sumergida para reducir el impacto visual. En una primera estimación, el espigón emergido debería tener unos 130-200 m y el resto sumergido hasta la cota de 5 m de profundidad (125-170 m aproximadamente). No obstante, estos valores se analizarán en las siguientes etapas del proyecto.

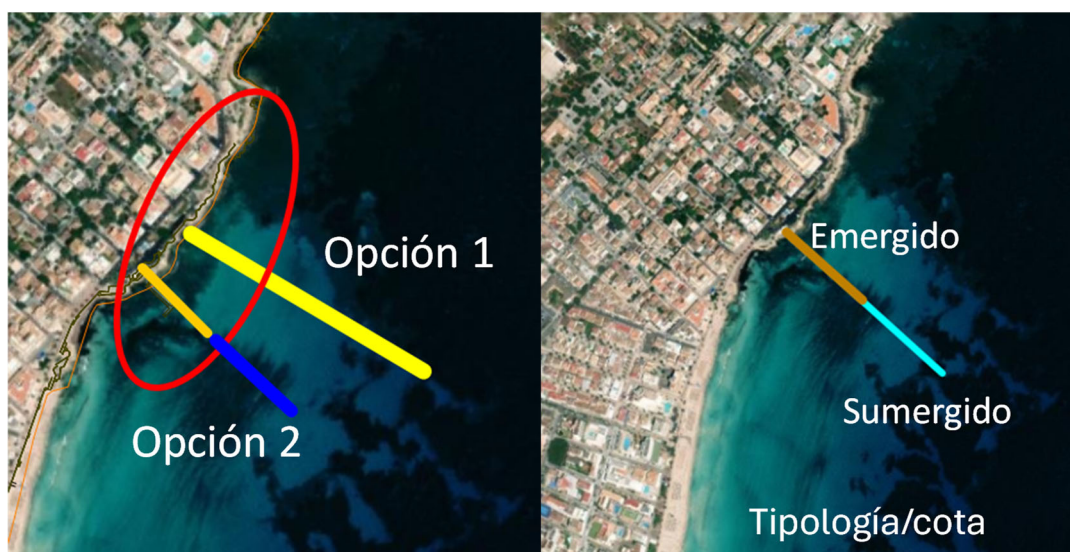


Figura 93. Parámetros de diseño.

En cuanto a tipología, en lugar de recurrir a los diques de escollera tradicionales, se pueden emplear otro tipo de piezas o materiales que aumenten la biodiversidad (Figura 92) o simulen lo observado en la propia naturaleza (Figura 94) o que sirvan como medida provisional durante un tiempo mientras se investigan otras alternativas para el largo plazo, como por ejemplo los geotubos.

En la Figura 95 se muestra una de las estructuras que más se están empleando actualmente en la República Dominicana construida con geotubos y una pasarela que, además de cumplir su principal misión que es proteger los geotubos de la radiación solar, puede albergar distintos usos sociales.

Este elemento de contención también podría albergar unas piscinas, como las Piscinas das marés de Alvaro Siza en Portugal (Figura 96).

Por tanto, el modelo de funcionamiento y la estabilidad de la playa son los que condicionan la existencia y las dimensiones de los elementos de contención de la playa.



Figura 94. Ejemplo de elemento de contención natural: Racó (Playa de La Pineda).



Figura 95. Ejemplo de estructura con geotubos. Fuente: [Diario turístico de la República Dominicana arecoa.com](http://Diario%20turistico%20de%20la%20Rep%C3%BAblica%20Dominicana%20arecoa.com).



Figura 96. Piscinas das marés Alvaro Siza, Leça de Palmeira, Oporto, Portugal (Fuente: [Urbipedia](#)).

5.3.1.3. Relacionados con los sistemas dunares

Para la existencia de un sistema dunar natural estable en una playa, es preciso que exista una playa seca mínima para que el oleaje no alcance la duna y destruya la duna completamente (Figura 97).

Esa distancia mínima depende de los oleajes en la zona y se pueden calcular con formulaciones, o mediante la observación de zonas similares.

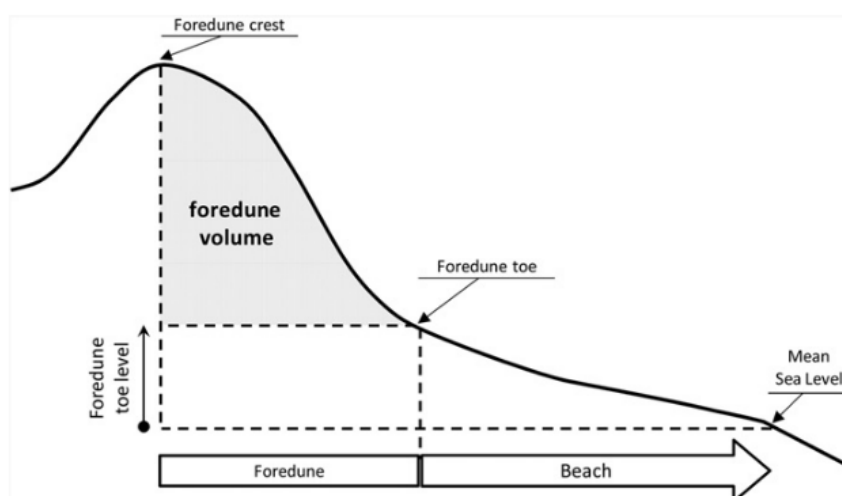


Figura 97. Parámetros de un perfil de playa con duna (Pellón et al., 2020).

En este caso, se han revisado imágenes aéreas de las dunas de Mallorca y, a nivel preliminar, se ha estimado que la anchura mínima está en torno a los 15 m en las zonas protegidas y alrededor de los 20 m en zonas más expuestas. Estas mediciones son compatibles con los valores mínimos observados en las ortofotos de Cala Millor de 1956 y 1968 (unos 15 m). Considerando los efectos del cambio climático, para estar del lado de la seguridad, se propone fijar en 20 m para esa anchura de playa seca mínima (W_{playa}). No obstante, en el caso que se integre esta medida en la solución seleccionada por las partes interesadas, se deber

Por otro lado, la construcción del sistema dunar implica el desmantelamiento del paseo marítimo, al menos en un tramo, por lo que es necesario que la duna tenga la suficiente cota como para mantener el riesgo actual. Esa anchura mínima es la del frente de duna (W_{duna}), que se puede estimar mediante la aproximación propuesta por Almeida et al. (2019), que relaciona la altura de la duna H_{duna} y la anchura del frente de duna W_{duna} ($H_{duna} = 0.14W_{duna} + 0.70$).

De este modo, la distancia total mínima para construir una duna estable se puede calcular como la suma de la anchura de playa seca mínima W_{playa} y la anchura del frente de duna W_{duna} .

Dado que el objeto de este documento no es el diseño del sistema dunar sino tener una estimación de cuánto es la anchura que se necesita para albergar un sistema dunar, se asumen como primera aproximación que la altura de la duna es igual a la cota del muro.

Para determinar la cota del muro se han empleado los datos del levantamiento de la playa y del paseo realizados por SOCIB y el levantamiento del paseo marítimo y muro realizado por LANDLAB, que sólo abarca los tramos B, C, D y E.

En la Tabla 13 se resumen los resultados de erosión e inundación extrema obtenidos en el WP3 por tramos para el escenario RCP 8.5 (percentil 50%) en 2100: retroceso medio e incremento de la columna de agua (medio y máximo). También se han incluido la anchura de playa seca media y la cota media del muro de cada tramo.

	Variable	Tramo A	Tramo B	Tramo C	Tramo D	Tramo E	Tramo F
Actual	Anchura playa (m)	48.52	24.31	38.53	31.7	18.58	12.5
	Cota muro (m)	-	3.78	2.83	2.97	3.36	-
2100	Retroceso (m)	20	25	20	25	20	25
	Δh (m)	0.35	1-1.96	0.88-1.49	0.55-1.6	0.81-1.68	1.5-1.65

Tabla 13. Resumen resultados erosión e inundación del WP3.

De este modo, si se desea generar un sistema dunar en el tramo B, en la situación actual se necesitaría una anchura de frente dunar de unos 22 m, con lo que la distancia mínima total sería unos 42 m. Si se tienen en cuenta los efectos del cambio climático, en el 2100 esa distancia mínima variaría entre 45 y 50 m. Esta distancia es similar para el año 2050.

Por lo tanto, si se quiere recuperar este hábitat, es necesario disponer de unos 50 m desde la línea de orilla.

Teniendo en cuenta que la anchura media en el tramo B es aproximadamente 25 m, habría que implementar alguna otra medida como: 1) el avance de la línea de costa con

la estructura propuesta al Sur y aportación de arena, 2) aportación de arena, 3) retranqueo.

Las tres opciones tienen sus propias ventajas e inconvenientes, como se analizará en detalle en las siguientes etapas en colaboración con las partes interesadas, pero durante el taller del 12 de junio se comentaron algunos de ellos como posicionamiento político del Govern de les Illes Balears respecto a la construcción de estructuras si no son necesarias o las regeneraciones por su ineficacia en el pasado.

Por otro lado, el retranqueo también puede condicionar la viabilidad del sistema dunar, dado que en determinados tramos de la playa no hay suficiente espacio para retroceder 25 m o si existe puede tener implicaciones jurídico-administrativas y socioeconómicas que dificulten su implementación.

Por todo ello, en dicho taller se propuso considerar otras técnicas para la generación de dunas artificiales que se están empleando en otros lugares, como el uso de geotextiles o dunas con otro tipo de material en el interior.

No obstante, es necesario investigar las distintas técnicas, su eficiencia y limitaciones antes de proponerla como una de las posibles medidas de adaptación en playas urbanas, donde el espacio en el trasdós de la playa pueda resultar un problema.

Por tanto, la implementación de un sistema dunar en la zona de estudio puede condicionar tanto la anchura de playa seca como el espacio público-privado necesario.

5.3.1.4. Relacionados con las figuras de protección

En el ámbito de estudio existen dos figuras de protección, el LIC Canal de Menorca, que alberga la pradera de *Posidonia oceanica* (Figura 98) y la ZEC Punta de n'Amer (Figura 99).

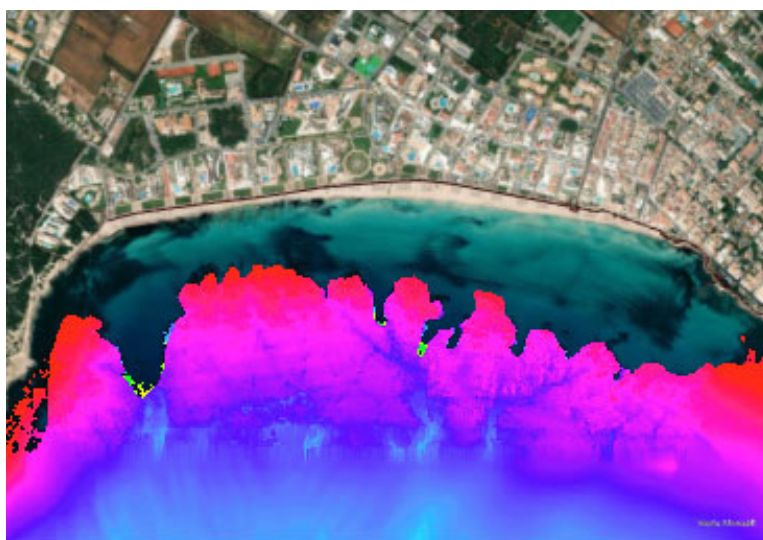


Figura 98. Pradera de *Posidonia oceanica* (LIC Canal de Menorca).

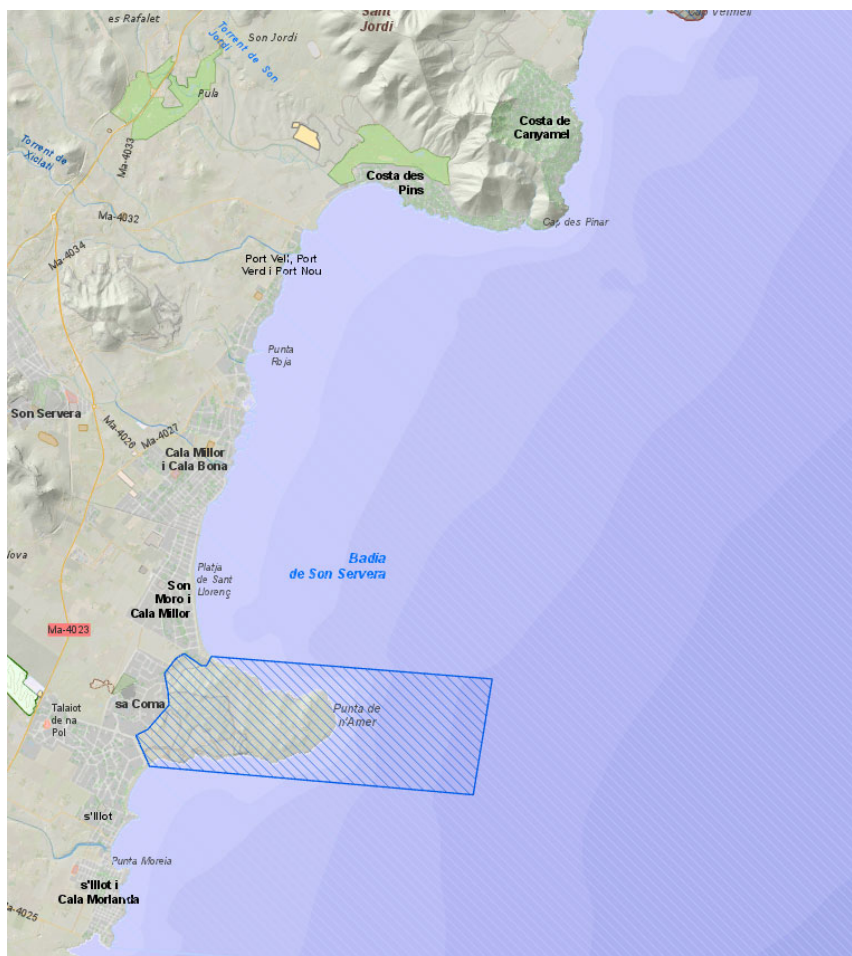


Figura 99. Zona de Especial Conservación (ZEC) Punta de n'Amer.

Por lo tanto, las medidas que se implementen en este ámbito deben garantizar que no se afecte a estas figuras de protección.

Por ejemplo, en el caso de los elementos de contención, su localización y longitud de ser tal que queden fuera del área de la pradera y de la ZEC, como se muestra en Figura 100 y se deben llevar a cabo los estudios y trámites necesarios para justificar que la actuación no afecta a su integridad. En caso de que afecte, en función del grado de afección, se podrán plantear medidas compensatorias como la replantación en otra zona, medidas como las cortinas de antiturbidez o será rechazada su implementación por el organismo competente.

En el caso de las regeneraciones o alimentaciones de la playa, es necesario que el límite del perfil activo (h^* , a unos 5 m de profundidad) quede alejado de la pradera para evitar su aterramiento. La localización de este límite respecto a la línea de orilla depende del ancho de playa que se desee y del tamaño de arena que se emplee, ya que cuanto menor sea el tamaño de grano mayor será la distancia a la orilla (el perfil más tendido). Como se aprecia en la Figura 100 en la situación actual ya está en el límite, por lo que, para evitar el aterramiento de la pradera se debería emplear un tamaño de arena mayor que el existente actualmente en la playa.



Figura 100. Localización de los elementos de contención respecto a la pradera de *Posidonia oceanica*.

El problema reside en encontrar una fuente de arena con un tamaño de grano con esas características, dado no se conocen yacimientos de arena en las proximidades, sólo el de costa de Banyalbufar (al otro lado de la isla), pero es un yacimiento que ha generado polémica por no haberse recuperado la biodiversidad del fondo tras la extracción como se preveía. Por lo tanto, se recomienda como medida de adaptación la investigación de nuevas fuentes de arena en aguas más profundas o buscar sedimentos alternativos, que permita lidiar con la escasez de arena.

Por tanto, las figuras de protección de la zona condicionan, por un lado, la localización y dimensiones de las estructuras y, por otro, el tamaño de arena y el avance de la playa.

5.3.1.5. Relacionados con los ámbitos competenciales

Otro de los elementos que pueden condicionar la viabilidad de una determinada medida son los ámbitos competenciales, debido a la cercanía de las edificaciones a la ribera del mar, sobre todo en la zona Norte (señalada en naranja en la Figura 101), donde apenas existe espacio para medidas como el retranqueo.

Entre la zona central y Sur (en amarillo) se dispone de unas zonas ajardinadas de unos 20 m en el trasdós de la playa, que permitiría el retranqueo del paseo para dotar a la playa de una mayor anchura y, de este modo, reducir el riesgo.

Sin embargo, el convertir la zona del paseo marítimo demolido en playa, obligaría a una tramitación de la modificación del deslinde para incorporar dicha zona dentro del DPMT. Dado que hay que mantener una distancia de 20 m entre la ribera y la Zona de Servidumbre de Protección (ZSP), habría que intentar que el desplazamiento del límite de la ZSP no afecte a las edificaciones de los hoteles, porque los hoteleros podrían oponerse y dificultar la implementación de la solución.

En este caso, la distancia entre los edificios actuales y la ZSP es de aproximadamente unos 10 m, por lo que no se recomienda que el retranqueo no supere esos 10 m, para evitar complicaciones en la tramitación de la medida.



Figura 101. El uso del espacio público-privado y los ámbitos competenciales.

Por último, en el caso que se decida llevar a cabo el retranqueo, es preciso realizar una revisión previa de las concesiones próximas al mar, como el Café del Sol, dado que podría dificultar su tramitación e implementación. Para evitar posibles problemas, se debería a esperar a la finalización de la concesión (2030), para implementar una solución basada en el retranqueo.

5.4. Catálogo de medidas y estrategias

Una vez comentados los condicionantes con las partes interesadas representadas por el grupo de trabajo y analizados los condicionantes técnicos, ambientales, jurídicos, etc., se ha elaborado un nuevo catálogo que incluye nuevas medidas y conserva algunas cuya viabilidad es preciso analizar en el futuro, cuando se hayan llevado a cabo las investigaciones necesarias.

En la Figura 102 se muestra ese nuevo catálogo de medidas organizado en estrategias. En el Anexo II se define en mayor detalle cada una de las medidas.

LIFE ADAPT CALA MILLOR





Cofinanciado por
la Unión Europea

124

6. Conclusiones y lecciones aprendidas

En el presente documento se resumen los primeros pasos para la búsqueda de una solución sistémica e integrada para la adaptación al cambio climático de Cala Millor, mediante una perspectiva de gobernanza multinivel y de forma participativa, con todas las partes interesadas implicadas desde el principio, para que sean conscientes de la magnitud de los impactos y riesgos del cambio climático en playas urbanas y, en especial, en Cala Millor.

En particular, se realiza un diagnóstico integrado del ámbito de estudio en la situación actual y futura, que sirve de base para definir los objetivos estratégicos y específicos de adaptación y, posteriormente, proponer posibles medidas de adaptación considerando las dimensiones física, medioambiental, socioeconómica y urbana, atendiendo al mismo tiempo a las necesidades y demandas sociales de los ciudadanos y las partes interesadas.

A continuación, se resumen algunos de los aspectos más relevantes de este estudio.

Las principales conclusiones del diagnóstico integrado con las siguientes:

- Del análisis del contexto actual se concluye que
 - o La distribución del sedimento en la zona de estudio y la línea de costa presentan una gran variabilidad, que depende de la dirección e intensidad de los oleajes incidentes y de las barras existentes en la zona.
 - o El balance sedimentario global indica que la playa de Cala Millor no se encuentra actualmente en equilibrio estático.
 - o Las zonas más críticas se encuentran en el sector Norte y el tramo entre las calles Flamenc y Rosella, por tener una anchura de playa inferior que el resto. La zona Sur suele presentar una gran variabilidad en función del oleaje incidente y suelen aparecer afloramientos rocosos.
 - o Algunas secciones del sistema de drenaje actual alcanzan su carga máxima durante los temporales de oleaje inundándose parcialmente esas zonas.
 - o El sistema dunar ha perdido más del 99% de su extensión original desde 1956 y está muy degradado, en un ámbito urbanizado y desconectado de la dinámica natural de playa.
 - o El crecimiento vertical de *Posidonia oceanica* muestra una reducción gradual de la capacidad de adaptación vertical de la planta a lo largo de las décadas.
- Del análisis del contexto futuro se concluye que los problemas identificados en la situación actual se verán agravados en los próximos años como consecuencia de los efectos del cambio climático: aumento del nivel medio del mar, aumento de la temperatura del agua del mar y la temperatura ambiente: En particular, se prevé:
 - o Una pérdida de playa seca entre el 20 y 45% en 2050 y entre 30 y el 95% en 2100 según escenario, quedando sólo playa en la zona central debido a la inundación permanente. Al ser un entorno urbano, esta reducción de la anchura de la playa, además de disminuir la capacidad de protección

que ejerce la playa en su trasdós, conlleva implicaciones socioeconómicas relevantes si no se adoptan medidas de adaptación.

- Una inundación más extensa durante los temporales según escenario y año horizonte: entre 78 200 m² y 101 900 m² en 2050, y entre 101 200 m² y 240 500 m² en 2100, según el escenario y el percentil seleccionado.
- El sistema de drenaje alcance su capacidad, causando interrupciones a lo largo del paseo marítimo y la plaza central bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para 2030, produciéndose posibles encharcamientos en las calles afectadas.
- Se produzca una gran disminución de la densidad de la pradera de posidonia en 2050 por el aumento de la temperatura y que desaparezca en el año 2100 en los dos escenarios climáticos considerados.
- Se produzca una pérdida de valor de la zona del 25%-83% (según escenario) por el aumento temperatura ambiente y la pérdida de arena

Este diagnóstico integrado ha permitido concluir que las temáticas clave y las cuestiones críticas a las que se debe dar respuesta son:

- 1) Ocupación del DPMT.
- 2) Efectos del cambio climático.
- 3) Desequilibrio sedimentario.
- 4) Conservación del medio natural costero.
- 5) Sobrecarga sistemas de drenaje.
- 6) Cambios en el sistema socioeconómico.

Y la existencia de tres **materias transversales de interés**:

- Disponibilidad de información
- Capacitación y adquisición de conocimientos
- Marco de gobernanza

Con base en estas temáticas críticas y materias transversales el equipo de trabajo constituido por representantes de las distintas entidades socias ha definido un conjunto de 8 objetivos estratégicos y específicos para Cala Millor (véanse apartado 4.2 y Anexo I. Objetivos estratégicos y específicos).

Con esos objetivos se ha elaborado un catálogo con un amplio y diverso abanico de medidas de distinta naturaleza (natural, basada en la naturaleza, estructurales y no estructurales) para dar respuesta a los problemas físicos, ambientales, socioeconómicos y urbanos del ámbito de estudio. Este catálogo se ha analizado conjuntamente con las partes interesadas en varias reuniones, seminarios y mediante encuestas lo que ha permitido adaptar ese catálogo considerando sus aportaciones. De esta interacción con las partes interesadas y, en especial con el Grupo de Trabajo AdaptCalaMillor, se concluye que:

- La combinación de la visión científico-técnica del equipo de trabajo con los conocimientos y experiencia de las partes interesadas locales es fundamental para la definición de las medidas de adaptación.
- Se debe plantear un catálogo preliminar desde el punto de vista científico-técnico y gobernanza con base en el diagnóstico integrado, pero es crucial contrastar y

validar ese catálogo con el Grupo de Trabajo para poder identificar con base en su experiencia las posibles incompatibilidades o condicionantes para su integración en estrategias de adaptación y, posteriormente, para la selección de la solución más adecuada para Cala Millor.

- Estas aportaciones permiten, por un lado, actualizar el catálogo eliminando o incorporando medidas en función de las necesidades y, por otro, identificar los posibles problemas o condicionantes que se puedan presentar desde el punto de vista físico, ambiental, socioeconómico, jurídico o urbano a la hora de implementar algunas medidas para buscar soluciones alternativas o proponer futuras investigaciones si se considera necesario.
- En este estudio se han identificado algunos condicionantes en Cala Millor que han permitido incorporar nuevas medidas en el catálogo y, en las siguientes etapas del proyecto se analizarán de forma conjunta con el Grupo de Trabajo para ver cuál es la mejor forma de hacer frente a dichos condicionantes. En este documento se ha realizado un breve resumen de esos condicionantes, pero se remite al lector al siguiente informe del proyecto (*D4.2 Integrated adaptation strategies for Cala Millor*), donde se explican y analizan con mayor detalle dichos condicionantes.

Dado que se espera que este proyecto pueda servir de ejemplo para otras comunidades con este tipo de problemas típicos de entornos urbanos costeros, a continuación, se recogen algunas lecciones aprendidas sobre la interacción con el Grupo de Trabajo:

- Debe planificarse con antelación, estableciendo una hoja de ruta con objetivos claramente identificados en cada foro de debate, pero debe lo suficientemente flexible para que se pueda adaptar a las necesidades que vayan surgiendo. Además, debe contemplarse en la planificación que este intercambio de experiencias requiere tiempo para poder escuchar las distintas partes e investigar posibles alternativas, por lo que en el cronograma debe asignarse más tiempo para poder llevar a cabo el análisis de las distintas medidas y su integración en estrategias, que deben hacerse de forma conjunta.
- Debe ser preferiblemente presencial, aunque si no es posible deben implementarse técnicas y dinámicas que fomenten la participación de los asistentes y el intercambio de opiniones.
- Deben explicarse los conceptos y resultados de forma sencilla y didáctica con ejemplos reales e intercambio de experiencias e incorporar dinámicas con material visual y palpable. De este modo se facilita la comprensión y la asimilación por parte de los asistentes y se fomenta el debate.

Referencias

- Borgman, L.E., 1984. Directional spectnim estimation for the Sxy gauges. Vicksburg, Miss.
- Bouws, E., Günther, H., Rosenthal, W., Vincent, C.L., 1985. Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water: 1. Spectral form. *J. Geophys. Res.* 90, 975. <https://doi.org/10.1029/JC090iC01p00975>
- Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., 2011. A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. *Coast. Eng.* 58, 851-862. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.05.007>
- Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., Tomas, A., Izaguirre, C., 2013. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coast. Eng.* 72, 56-68. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2012.09.002>
- Cid, A., Castanedo, S., Abascal, A.J., Menéndez, M., Medina, R., 2014. A high resolution hindcast of the meteorological sea level component for Southern Europe: the GOS dataset. *Clim. Dyn.* 43, 2167-2184. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-2041-0>
- de Almeida, L.R., González, M., Medina, R., 2019. Morphometric characterization of foredunes along the coast of northern Spain. *Geomorphology* 338, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.019>
- Egbert, G.D., Bennett, A.F., Foreman, M.G.G., 1994. TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *J. Geophys. Res.* 99, 24821. <https://doi.org/10.1029/94JC01894>
- Egbert, G.D., Erofeeva, S.Y., 2002. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 19, 183-204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2)
- Fernández-Mora, A., García-García, M., García-Veira, D., Gómez-Pujol, L., Marbà, N., Marcos, M., Orfila, A., Pascual-Fuster, B., Rosselló-Nadal, J., Sabater, A., Sánchez-García, E., 2025. DELIVERABLE NUMBER 3.5: Integrated Climate Change Multi-Risk Assessment at Cala Millor, en: Participatory and multi-level governance process to design a transformational climate change adaptation project at Cala Millor beach from an integrated and multidisciplinary science-based approach (Life AdaptCalaMillor). p. 102. <https://doi.org/http://doi.org/10.25704/0JGN-FD25>
- Fernández-Mora, A., García-Veira, D., Gómez-Pujol, L., Marbà, N., Marcos, M., Orfila, A., Pascual-Fuster, B., Rosselló-Nadal, J., Sánchez-García, E., 2025. DELIVERABLE NUMBER 3.4: Integrated multidisciplinary methodology for the assessment of impacts and associated risks of different progressive global change projections at urban beaches: Application at Cala Millor beach, en: Participatory and multi-level governance process to design a transformational climate change adaptation project at Cala Millor beach from an integrated and multidisciplinary science-based approach (Life AdaptCalaMillor). p. 161. <https://doi.org/http://doi.org/10.25704/PSWX-X018>

- Fernández-Mora, A., Criado-Sudau, F.F., Gómez-Pujol, L., Tintoré, J., Orfila, A., 2023. Ten years of morphodynamic data at a micro-tidal urban beach: Cala Millor (Western Mediterranean Sea). *Sci. Data* 10, 301. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02210-2>
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Tintoré, J., 2011. Controls on sediment dynamics and medium-term morphological change in a barred microtidal beach (Cala Millor, Mallorca, Western Mediterranean). *Geomorphology* 132, 87-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.026>
- 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. *Comput. Geosci.* 33, 916-931. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.12.005>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J.-N., 2020. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146, 1999-2049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- IHCantabria, 2017. Estudio de las condiciones actuales de la playa de Cala Millor (Mallorca) y propuesta de líneas de actuación para su mejora durante el verano de 2017. Santander, Cantabria, España.
- IMEDEA, 2005. Variabilidad y dinámica sedimentaria de las playas de Cala Millor y Cala San Vicens, alternativas de gestión basadas en el conocimiento científico.
- IPCC, 2019. «Resumen para responsables de políticas», en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Pe.
- Kopp, R.E., Horton, R.M., Little, C.M., Mitrovica, J.X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D.J., Strauss, B.H., Tebaldi, C., 2014. Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. *Earth's Futur.* 2, 383-406. <https://doi.org/10.1002/2014EF000239>
- Luque, P., Gómez-Pujol, L., Marcos, M., Orfila, A., 2021. Coastal Flooding in the Balearic Islands During the Twenty-First Century Caused by Sea-Level Rise and Extreme Events. *Front. Mar. Sci.* Volume 8-. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.676452>
- MARBÀ, N., DUARTE, C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Glob. Chang. Biol.* 16, 2366-2375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x>
- Mínguez, R., Espejo, A., Tomás, A., Méndez, F.J., Losada, I.J., 2011. Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. *J. Atmos. Ocean. Technol.* 28, 1466-1485. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00008.1>

- Pellón, E., de Almeida, L.R., González, M., Medina, R., 2020. Relationship between foredune profile morphology and aeolian and marine dynamics: A conceptual model. *Geomorphology* 351. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106984>
- Pericàs-Palou, A., Gómez, A.G., Bujosa, N., 2025. Informe técnico Tarea 2.2.3. Awareness Campaigns: Local Associations. WP2 Governance framework: Stakeholders & Citizens' engagement at Cala Millor. Proyecto LIFE AdaptCalaMillor. Palma, España.
- Pericàs-Palou, A., Gómez, A.G., Gómez-Pujol, L., 2024. Informe técnico Tarea 2.1.2. Understanding stakeholders from the public sector. WP2 Governance framework: Stakeholders & Citizens' engagement at Cala Millor. Proyecto LIFE AdaptCalaMillor. Palma, España. 83pp.
- Quetzalcóatl, O., González, M., Cánovas, V., Medina, R., Espejo, A., Klein, A., Tessler, M.G., Almeida, L.R., Jaramillo, C., Garnier, R., Kakeh, N., González-Ondina, J., 2019. SMC ϵ , a coastal modeling system for assessing beach processes and coastal interventions: Application to the Brazilian coast. *Environ. Model. Softw.* 116, 131-152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.03.001>
- Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A. Van, Thiel, J. Van, Vries, D., McCall, R., Lescinski, J., 2009. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coast. Eng.* 56, 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
- Shchepetkin, A.F., McWilliams, J.C., 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model.* 9, 347-404. <https://doi.org/10.1016/J.OCEMOD.2004.08.002>
- Tintoré, J., Medina, R., Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Vizoso, G., 2009. Integrated and interdisciplinary scientific approach to coastal management. *Ocean Coast. Manag.* 52, 493-505. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.08.002>

Anexo I. Objetivos estratégicos y específicos

Objetivos estratégicos

1. Liberación del DPMT
2. Mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo
3. Mejora de la biodiversidad y resiliencia
4. Restablecimiento del balance sedimentario
5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública (TRANSVERSAL)
5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar
5.2. Mejora de la comunicación y participación
6. Fortalecimiento de la capacidad de entender (TRANSVERSAL)
6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)
6.2 Mejora del estado del arte relativo a la protección de la costa (Conocimiento)
6.3 Capacitación y educación
7. Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos
8. Mejora de la gestión integral del ciclo del agua

Tabla 14. Objetivos estratégicos seleccionados.

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
1. Liberación del DPMT		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender	4. Reducir las consecuencias del medio físico cambiante en la situación actual y en el largo plazo.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender	5. Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre las ocupaciones del DPMT con título vigente.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	6. Reducir la presión de las ocupaciones del DPMT sobre el sistema costero.	Ambas opciones
		6.2 Mejora del estado del arte relativo a la protección de la costa (Conocimiento)	7. Potenciar la experiencia en implementación de medidas de liberación del DPMT.	Ambas opciones
2. Mantenimiento del nivel de riesgo a largo plazo		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	35. Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el medio antrópico costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	41. Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	36. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión e inundación en el medio antrópico costero en el largo plazo.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	42. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad asociada a eventos erosivos en el largo plazo.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	31. Impulsar los servicios ecosistémicos del medio natural costero	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	32. Corregir la falta de información sobre la peligrosidad de erosión e inundación combinadas.	Ambas opciones

Tabla 15. Objetivos estratégicos y específicos: Liberación del DPMT y mantenimiento del nivel de riesgo en el largo plazo.

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
3. Mejora de la biodiversidad y resiliencia		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	24. Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	25. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	26. Reducir la presión del medio antrópico.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	27. Reducir la presión de las actividades humanas.	Ambas opciones
	2. Integración de elementos naturales en la gestión de áreas costeras	6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	30. Potenciar la experiencia en rehabilitación ambiental de las playas, sus dunas y en estabilización de acantilados.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	22. Corregir la falta de información y conocimientos sobre los servicios ecosistémicos del medio natural costero.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	31. Impulsar los servicios ecosistémicos del medio natural costero	Ambas opciones
	4. Conservar y proteger los ecosistemas costeros frente a las amenazas globales y locales mitigando los impactos humanos a largo plazo.	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	24. Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	25. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	26. Reducir la presión del medio antrópico.	Ambas opciones
		5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	27. Reducir la presión de las actividades humanas.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	29. Potenciar las figuras de protección ambiental.	Ambas opciones

Tabla 16. Objetivos estratégicos y específicos: Mejora de la biodiversidad y la resiliencia.

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
3. Mejora de la biodiversidad y resiliencia	5. Promover la resiliencia ecológica y adaptabilidad de los ecosistemas para mitigar los efectos del cambio climático	6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	36. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión e inundación en el medio antrópico costero en el largo plazo.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	41. Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	42. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad asociada a eventos erosivos en el largo plazo.	Ambas opciones
	6. Implementar prácticas de restauración y recuperación de los elementos naturales o ecosistemas para recuperar áreas degradadas	6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	30. Potenciar la experiencia en rehabilitación ambiental de las playas, sus dunas y en estabilización de acantilados.	Ambas opciones
	OG.1 Reforzar la capacidad adaptativa de la infraestructura verde y la conectividad ecológica, incluyendo la conservación y ampliación de los corredores ecológicos, para favorecer las respuestas adaptativas de las especies.	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE.1.1.1 Renaturalización y resiliencia: aumentar la superficie de suelo capaz de sostener vegetación	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE.1.2. Priorizar la conservación de las especies endémicas, especies incluidas en los catálogos de especies amenazadas o protegidas a nivel internacional que son propias de los ecosistemas marinos, costeros y estuáricos.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE.1.3. Considerar la presencia de fauna como aves e invertebrados y crear espacios adecuados para su refugio, anidación y reproducción.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE1.4. Proponer soluciones de diseño que reduzcan el efecto isla de calor en el espacio público y permitan una mejor adaptación al incremento de las temperaturas.	Ambas opciones
	OG4. Integrar la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana, desarrollando una gobernanza para la gestión del riesgo democrática, con implicación de todas las partes interesadas en la planificación y la gestión.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	OE4.5. Preservar aquellos valores geomorfológicos, identificadores y característicos del paisaje litoral, así como trabajar para que los espacios públicos sean cercanos, identificables y referentes, tanto físicos como simbólicos, para toda la ciudadanía.	Ambas opciones
	OG. T1. Promover medidas de adaptación al cambio climático que aprovechen el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza como medio para fortalecer la resiliencia de especies y ecosistemas.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	13. Impulsar una cultura de gestión de la costa inclusiva y colaborativa.	Ambas opciones

Tabla 17. Objetivos estratégicos y específicos: Mejora de la biodiversidad y la resiliencia (continuación).

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
4. Restablecimiento del balance sedimentario.		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	16. Reducir las consecuencias de la disrupción antrópica de la deriva litoral de sedimentos.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	14. Corregir la falta de información relativa a fuentes de sedimento de aportación	Ambas opciones
5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.		6.3 Capacitación y educación (o divulgación, concienciación)?	11. Potenciar la capacitación del personal de la administración pública.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	12. Potenciar la planificación estratégica para la protección de la costa con base en el mejor conocimiento científico-técnico.	Ambas opciones
		5.2. Mejora de la comunicación y participación	13. Impulsar una cultura de gestión de la costa inclusiva y colaborativa.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	22. Corregir la falta de información y conocimientos sobre los servicios ecosistémicos del medio natural costero.	Ambas opciones
	4. Conservar y proteger los ecosistemas costeros frente a las amenazas globales y locales mitigando los impactos humanos a largo plazo.	6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	28. Reducir las consecuencias de las actuaciones para la conservación del medio natural sin fundamento adecuado.	Ambas opciones
	6. Implementar prácticas de restauración y recuperación de los elementos naturales o ecosistemas para recuperar áreas degradadas	6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	45. Impulsar la monitorización de los impactos tras eventos erosivos.	Ambas opciones
	Mantener o mejorar el nivel de bienestar de los residentes de Cala Millor	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	46. Impulsar la adquisición de fondos de contingencia adicionales.	Ambas opciones
	OG4. Integrar la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana, desarrollando una gobernanza para la gestión del riesgo democrática, con implicación de todas las partes interesadas en la planificación y la gestión.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	OE4.2. Actuar sobre el entorno urbano de las ciudades para fomentar la actividad física y mejorar la salud física y mental de la población a través del establecimiento de itinerarios saludables, así como asegurar que los espacios se conviertan en puntos de encuentro.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE.4.3. Ordenar los usos del paseo marítimo para evitar una saturación de los espacios turísticos y salvaguardar la relación residente-turista	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	OE4.4. Identificar los elementos del patrimonio cultural más vulnerables al cambio climático y definir posibles estrategias de adaptación.	Ambas opciones

Tabla 18. Objetivos estratégicos y específicos: Restablecimiento del balance sedimentario y mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
7. Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos	Evaluar los riesgos derivados del cambio climático que afectan al sector turístico.	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	45. Impulsar la monitorización de los impactos tras eventos erosivos.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	Corregir la falta de información relativa a las consecuencias del cambio climático sobre el sector socioeconómico	Ambas opciones
	OG3. Proteger los destinos y recursos turísticos y fomentar la resiliencia de las infraestructuras y los equipamientos de uso turístico.	6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	24. Reducir los impactos de la erosión sobre el medio natural costero en la situación actual.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	25. Reducir las consecuencias del aumento de la peligrosidad de erosión en el medio natural costero en el largo plazo.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	40. Corregir el deterioro del estado de mantenimiento y conservación de la costa previo al evento erosivo.	Ambas opciones
		6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	41. Reducir los impactos de la erosión e inundación sobre el sistema costero en la situación actual.	Ambas opciones
	Mantener o mejorar el nivel de bienestar de los residentes de Cala Millor	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	Mantener o mejorar el nivel de renta y empleo de los residentes	Ambas opciones
		5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	47. Impulsar la reconstrucción mejorada tras eventos erosivos.	Ambas opciones
	OG3. Proteger los destinos y recursos turísticos y fomentar la resiliencia de las infraestructuras y los equipamientos de uso turístico.	6.1 Obtención y gestión de información (Monitorización)	Reducir las consecuencias sobre las infraestructuras públicas.	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	Potenciar la experiencia en construcción y demolición de estructuras para la protección de la costa	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE3.1. Impulsar un movilidad descarbonizada a nivel insular que priorice el transporte público colectivo	Ambas opciones

Tabla 19. Objetivos estratégicos y específicos: Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos.

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
7. Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos	OG3. Proteger los destinos y recursos turísticos y fomentar la resiliencia de las infraestructuras y los equipamientos de uso turístico.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	OE3.2. Fomentar una movilidad activa que se base en los desplazamientos peatonales y ciclables, relegando el vehículo privado a un segundo plano mediante aparcamientos disuasorios que permitan liberar parte del espacio público.	Ambas opciones
		5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	OE3.3 Proponer una materialidad que no favorezca el efecto isla de calor, permita una disminución de la temperatura y facilite los usos en el espacio público	Ambas opciones
		6. Fortalecimiento de la capacidad de entender.	OE3.4. Mejorar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático en la demanda de energía e identificar medidas para evitar o limitar los picos de demanda, especialmente los asociados al calor.	Ambas opciones
	OG4. Integrar la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana, desarrollando una gobernanza para la gestión del riesgo democrática, con implicación de todas las partes interesadas en la planificación y la gestión	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	OE4.1. Garantizar la accesibilidad universal en las actividades que se llevan a cabo en el espacio público, la playa y el mar y la eliminación de barreras arquitectónicas.	Ambas opciones
	OG. T2. Fomentar las actuaciones preventivas ante los riesgos derivados del exceso de temperaturas sobre la salud y fomentar estilos de vida resilientes y adaptados al clima.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	Actuar sobre el entorno urbano de las ciudades para fomentar la actividad física y mejorar la salud física y mental de la población a través del establecimiento de itinerarios saludables, así como asegurar que los espacios se conviertan en puntos de encuentro.	Ambas opciones
	OG. T3. Definir modelos de turismo que sean sostenibles y que tengan en cuenta las capacidades de carga ambiental y los condicionantes climáticos de los destinos.	5. Mejora del marco de gobernanza y concienciación pública.	Ordenar los usos del paseo marítimo para evitar una saturación de los espacios turísticos y salvaguardar la relación residente-turista.	Ambas opciones

Tabla 20. Objetivos estratégicos y específicos: Mantenimiento o mejora sostenible de los recursos socioeconómicos (continuación).

OBJETIVO ESTRATÉGICO NIVEL 1	OBJETIVO ESTRATÉGICO PROPUESTO NIVEL 2 o DESCRIPCIÓN	OBJETIVO ESTRATÉGICO TRANSVERSAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS PROPUESTOS	APLICABLE A (Cala Millor/playas urbanas)
8. Mejora de la gestión integral del ciclo del agua	OG2. Mantener el nivel de riesgo, promoviendo prácticas de adaptación sostenibles, que persigan objetivos múltiples, en materia de uso y gestión del agua, así como sobre los eventos extremos.	5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE2.1. Renaturalizar los cursos fluviales y proteger y fortalecer las zonas húmedas.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE2.2. Integrar todas las redes de drenaje en una lógica conjunta y sistémica de gestión integral del ciclo del agua, incorporando SUDS y sistemas de drenaje naturalizados, aliviaderos y sistemas para tratar y regenerar el agua.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE2.3. Introducir la lógica circular a la hora de diseñar los sistemas de recogida de aguas, riego y distribución de agua potable para conseguir un mayor índice de regeneración y recuperación de agua.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE2.4. Incorporar la inundabilidad marítima, fluvial y urbana en el diseño del espacio público, convirtiéndola en un elemento modelador del proyecto y consiguiendo reducir sus impactos negativos en el sistema urbano.	Ambas opciones
		5.1. Fortalecimiento de la capacidad de planificar	OE2.5. Aumentar la superficie permeable mediante superficies vegetadas o pavimentos drenantes para conseguir una mayor infiltración de agua en el suelo, reduciendo las avenidas y retornando agua al acuífero.	Ambas opciones

Tabla 21. Objetivos estratégicos y específicos: Mejora de la gestión integral del ciclo del agua.

Figura 103. Catálogo de medidas en función de la estrategia considerada.



ESPIGÓN

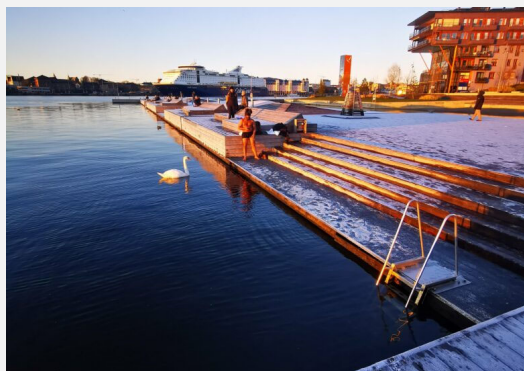
Estructura lineal, perpendicular a la línea de costa, construida con bloques de piedra u hormigón. Trabajan bloqueando parte de la deriva litoral.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



HurviSq#
frwhud#



Sørenga Sjøbad (sea bath, Oslo, Noruega). Fuente imagen: [Bendik Bryde](#).

Naturaleza

Estructural

Dimensión

Física

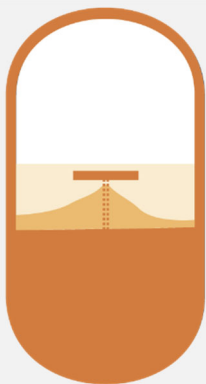
Estrategia

Avance con estructuras
Protección-Barrera

Figura 104. Medida: Espigón.

HEMITÓMBOLO

Estructura costera paralela a la línea de la costa construida con bloques de piedra u hormigón que genera un saliente de arena entre la costa y la estructura.



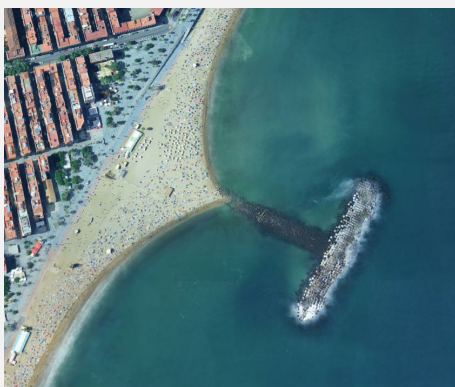
**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvišg#
frwhud#



Inxggdēšg#
ccwhud#



Barcelona (Google Earth)



Covachos

Naturaleza

Estructural

Dimensión

Física

Estrategia

Avance con estructuras
Protección-Barrera

Figura 105. Medida: Hemitómbolo.

ESCOLLERAS VIVAS

Escollera diseñada para favorecer el asentamiento de una comunidad biológica, con lo que se incorporan co-beneficios tales como el almacenamiento de carbono, aumento de la biodiversidad y refuerzo de la estructura a través de la bioprotección.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvšg#
frwhud#



I7pxggdEšg#
ccwhud#



Piezas de hormigón ecológico que aumentan la biodiversidad en una estructura. Puerto de Vigo, 9 meses tras la instalación de las piezas. Fuente: EONcrete

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental

Estrategia

Protección-Refuerzo/Barrera

Figura 106. Medida: Escolleras vivas.

DIQUE DE GEOTEXTIL

Dique construido con un núcleo consistente en tubos o sacos de geotextil rellenos de arena, dispuestos de forma continua o escalonada, que actúa como protección contra el impacto de la energía del oleaje, estabiliza la línea de costa y ayuda a mitigar la erosión del litoral

Naturaleza

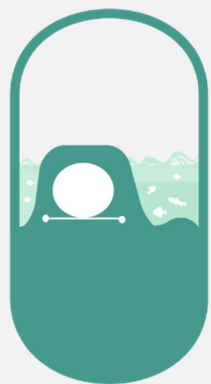
Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental

Estrategia

Avance con estructuras
Protección-Barrera



Riesgo/impacto
sobre el que actúa:



Hurviſq#
frwhud#

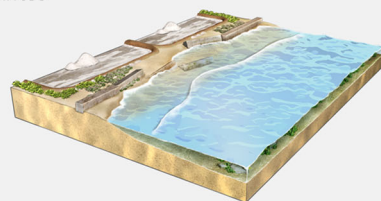


Iŕpxgáſſq#
ccwhud#

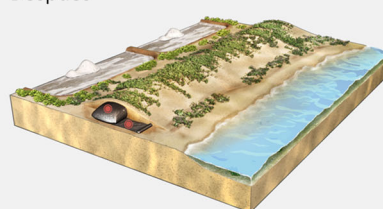


Dxp hqwr# ghŕ#
qlyhŕghŕp dŭ#

Antes



Después



Dunas de arenas [ACE Geosynthetics](https://www.acegeosynthetics.com/)



Vista sol. Fuente: [Diario turístico de la República Dominicana arecoa.com](https://www.diarioturistico.com/)

Figura 107. Medida: Dique de geotextil.

ALIMENTACIÓN DE ARENA

Colocar sedimento dragado frente a la playa y distribuirlo a lo largo de ésta de manera mecánica o mediante las corrientes y el oleaje, contribuyendo a la reducción de la erosión mediante una disipación más eficaz de la energía de las olas y evitando la erosión tierra adentro.

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental

Estrategia

Avance con sedimento



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvišg#
frwhud#



Iŋxggdŋšg#
ccwhud#



Regeneración playa Sardinero tras temporal 2014

Figura 108. Medida: Alimentación de arena.

DIQUE ATERRAZADO

Estructura para la interceptación de las olas y la reducción del desbordamiento y las inundaciones inducidas por las olas gracias al límite aterrazado.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvišq#
frwhud#



Iŋxqgdfšq#
ccwhud#



Dxp hqwr# ghđ
qlyhđghđp dũ#



Sistema de protección costero de Cleveleys, Reino Unido. Fuente: Wyre Council.

Naturaleza

Estructural

Dimensión

Física

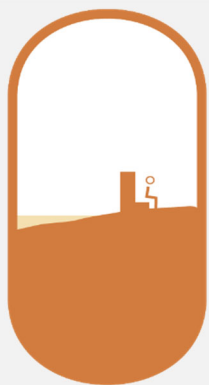
Estrategia

Protección-Refuerzo/Barrera

Figura 109. Medida: Dique aterrazado.

ELEVACIÓN DE MURO

Muro-banco situado a lo largo de un muelle o paseo marítimo para impedir el paso del agua y proteger las personas y las infraestructuras críticas de las inundaciones.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvlsq#
frwhud#



Irxqgdfsq#
ccwhud#



Dxp hqr# gh#
qlyhdyhdp du#



Banco corrido en el malecón de La Habana, Cuba. Imagen: Maxime Felder.

Naturaleza

Estructural

Dimensión

Física

Estrategia

Protección-Refuerzo

Figura 110. Medida: Elevación de muro.

SISTEMA DUNAR

Depósitos de arena y grava moldeados por el viento y el oleaje sobre la banda costera. Son protección natural flexible contra la erosión y las inundaciones.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvİſq#
frvwhud#



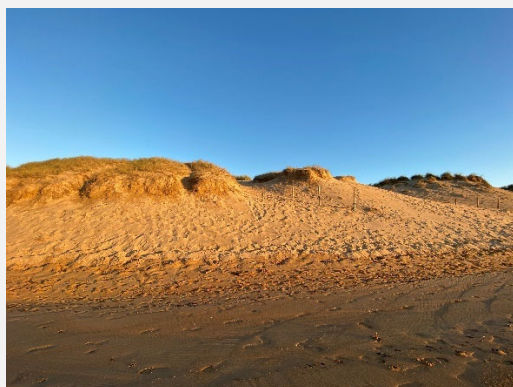
Irpxqgdİſq#
ccvwhud#



Dxp hqwr# ghđ
qlyhđghđp du#



Dohudİſq#gh#arv#
hfrvwhup dv#



Liencres



The new Hondbossche dunes. West 8.

Naturaleza

Natural

Dimensión

Física-Ambiental

Estrategia

Protección-Barrera

Figura 111. Medida: Sistema dunar.

DUNA ESTABILIZADA

Generación de una duna a través de un relleno que se recubre de arena y se fija con vegetación de porte arbustivo y/o arbóreo.

Naturaleza

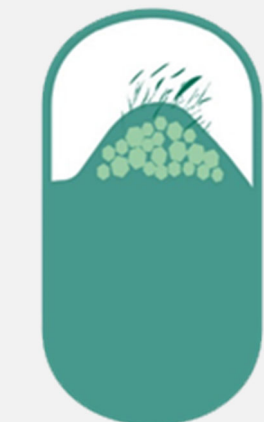
Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental

Estrategia

Protección-Barrera



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvišg#
frwuhud#



Inxqgdēšg#
CC-whud#

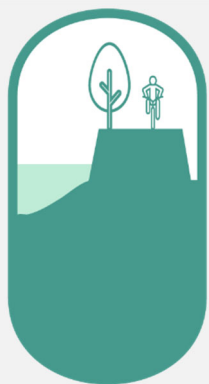


Dxp hqr# ghđ
qlyhđghđp d#



Plantación de barrón (ammophila arenaria) en las playas de Loredo y Somo, para fijar y estabilizar las superficies desnudas o de escasa vegetación. Fuente: [Ministerio para la Transición ecológica y el Reto demográfico](#)

Figura 112. Medida: Duna estabilizada.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Iqxcgdfiſq#
firvhu#



Dxp hqwr# gh#
qlyhghdp du#



Iqfuhp hqwr# gh#
atv#hp shudwudv#



Frqwdp iqdſq#
dſſwſd#



Frqwdp iqdſq#
dvp rviſuſd#

PASEO DIQUE

Estructura para evitar el paso del agua y las inundaciones diseñada como espacio con funciones recreativas, educativas y deportivas y Generando un paseo-parque urbano.



The Big U, Manhattan, Nueva York. Fuente: BIG

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Urbana

Estrategia

Protección-Barrera

Figura 113. Medida: Paseo dique.

BERMA-PARQUE

Berma diseñada como espacio verde con funciones recreativas, educativas y deportivas

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental-Urbana

Estrategia

Protección-Barrera



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Iqxxgdf.3q#
firvhu#



Dxp hqr# gh#
q.3hghghp du#



Iqfuhp hqr# gh#
aiv#hp shudwcuiv#



Frqwdp lqdf.3q#
df3vwd#



Frqwdp lqdf.3q#
dvp rvi3wlf#



Proyecto La Mar Bella, Esteyco+ EMF, Barcelona

Figura 114. Medida: Berma-Parque.

SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

Cadena de sistemas que permite pronosticar y alertar sobre un evento extremo con el tiempo suficiente para poder aumentar la capacidad de respuesta y minimizar los efectos de este evento

Naturaleza

No estructural

Dimensión

Socioeconómica-urbana

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Iqxqgdfšg#
Crwhud#



Dxp hqw# gh#
qlyhghghp du#



Iqfuhp hqw# gh#
advhkp shuwcudv#



Frqwdp lqdfšg#
dššvwšfd#



Frqwdp lqdfšg#
dwp rvišwšfd#



Episodio de inundación costera. Fuente: Logan Abassi.

Figura 115. Medida: Sistemas de alerta temprana.

INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN ESPECÍFICOS

Instrumentos de planificación, ordenación y gestión del medio litoral destinados a la adaptación al cambio climático y a la prevención y gestión de riesgos.

Naturaleza

No estructural

Dimensión

Socioeconómica-Urbana

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Iqxqgdffs#
frwhud#



Dxp hqw# gh#
qlyhdghdp au#



Iqfuhp hqw# gh#
aivhwp shudwcuiv#



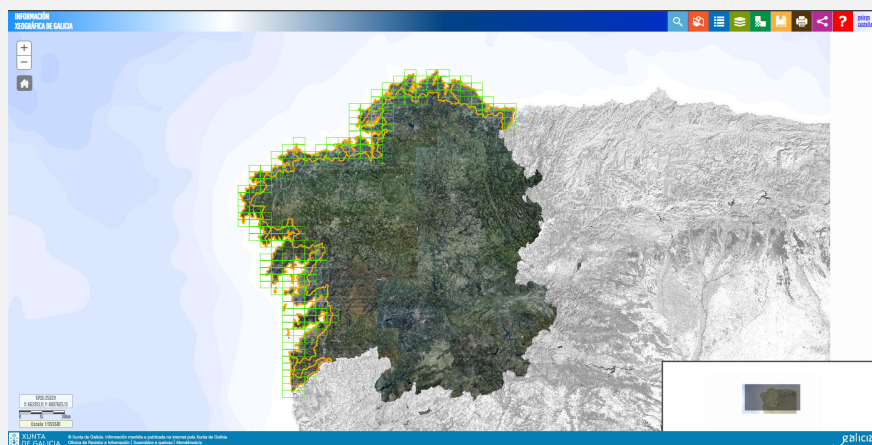
Frqwdp Iqdfis#
dfbwdf#



Frqwdp Iqdfis#
awp rviwufd#



Frqwdp Iqdfis#
dexwufd#



Plan de Ordenación del Litoral de Galicia, 2011. Fuente: POL Galicia.

Figura 116. Medida: Instrumentos de planificación específicos.

MEDIDAS DE TRANSFERENCIA DEL RIESGO

Las aseguradoras absorben impactos para evitar perjuicios económicos a los afectados, cediendo el riesgo mediante coaseguro, reaseguro o mercados de capitales, asegurando así su solvencia.

Naturaleza

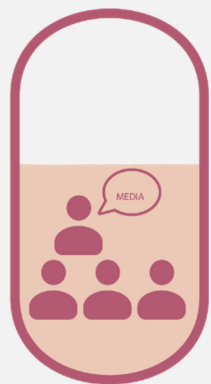
No estructural

Dimensión

Socioeconómica

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Iqxxgdfj3q#
firvhu#



Dxp hgw# gh#
qlyhghdp du#



Iqfuhp hgw# gh#
aivtkhp shudwudv#



Frqwdp lqdfj3q#
dE3wEd#



Frqwdp lqdfj3q#
dwp rviãuEd#



Frqwdp lqdfj3q#
dfxúwEd#



Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora.
MITECO, Madrid 2020.

Figura 117. Medida: Medidas de transferencia del riesgo.

GESTIÓN DE LA MOVILIDAD

Desarrollo de una red de transporte público óptima, que disminuya la necesidad de acceso de vehículos privados y haga más inclusivo el disfrute del litoral. Incluye también cambios en la movilidad de la zona.

Naturaleza

No estructural

Dimensión

Socioeconómica-Urbana

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



Figura 118. Medida: Gestión de la movilidad.

INVESTIGACIÓN DE LA RESILIENCIA COSTERA

Financiación de proyectos de nuevos mecanismos y herramientas que contribuyan a ser más resilientes y ayuden a lidiar con el cambio climático. Conjunto de acciones encaminadas al conocimiento del funcionamiento del sistema, monitorización y seguimiento

Naturaleza

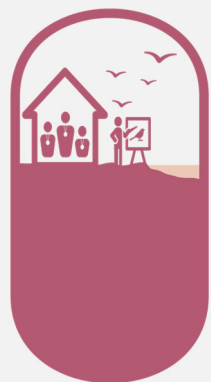
No estructural

Dimensión

Ambiental-Socioeconómica-Urbana

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurv8q#
firvhu#



Lqpxgdf8q#
firvhu#



Dxp hqwr# gh#
qlyhghdp du#



Dohudf8q#gh#arv#
hfrvwhp dv#



Lqfuhp hqwr# gh#
aivhkp shudwcv#



LIFE AdaptCalaMillor

Figura 119. Medida: Investigación de la resiliencia costera.

MANTENIMIENTO DE HÁBITATS COSTEROS

Programas dedicados a la conservación de los hábitats que actúan de reguladores de los efectos del cambio climático. Erosión, inundación, intrusión salina, etc., que puede generar nuevos puestos de trabajo.

Naturaleza

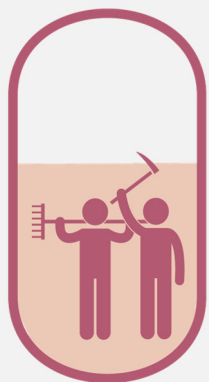
No estructural

Dimensión

Ambiental-Socioeconómica

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvšq#
frvwhud#



Lqxqgdšq#
frvwhud#



Dohudfšq#gh#arv#
hfrvwhudp dv#



Frqwdp lqdfšq#
dwp rvišũũfd#



Frqwdp lqdfšq#
dfxũũfd#



Replantación *Posidonia oceanica*. Fuente: [Red eléctrica](#)



Restauración de dunas (Manual de restauración de dunas costeras).

Figura 120. Medida: Mantenimiento de hábitats costeros.

MEDIDAS DE CONCIENCIACIÓN

Las medidas de concienciación incluyen una amplia variedad de actividades enfocadas a mejorar la conciencia pública y política sobre los peligros relacionados con la amenaza realizada.

Naturaleza

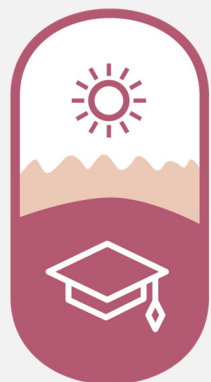
No estructural

Dimensión

Socioeconómica

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa:**



Hurvİſq#
frwñud#



Iqxqgdſİſq#
frwñud#



Dxp hqw# ghđ#
qlyhđghđp dñ#



Frgwâp İqđſİſq#
dfxúvİđđ#



Dohudİſq#gh#arv#
hfrvñwp dv#



Dunas remanentes y su protección



Portada y contraportada del cuento ilustrado "Saltar las Olas".



Figura 121. Medida: Medidas de concienciación.

INVESTIGACIÓN DE FANERÓGAMAS

Investigación sobre fanerógamas marinas alternativas a la *Posidonia oceanica*, resilientes al cambio climático, que mantengan sus servicios ecosistémicos de regulación costera, biodiversidad y captura de carbono en entornos degradados.

Naturaleza

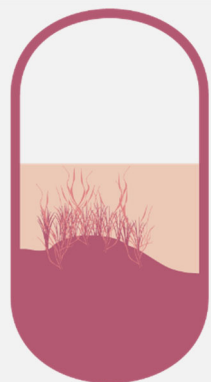
No estructural

Dimensión

Ambiental-Socioeconómica

Estrategia

Acomodación-Medidas no estructurales de prevención de riesgo



Riesgo/impacto sobre el que actúa :



Hurv3q#
frwhud#



Iqxqgdf3q#
frwhud#



Dxp hqw# gh#
qlyhdghdp du#



Dohudf3q#gh#ar#
hfrvwhp dv#



Frgwdp lqdf3q#
dExúwfd#



Iqfuhp hqw# gh#
aiv#hp shudwudv#



Planta marina invasora «Halophila stipulacea». IMEDEA (CSIC-UIB) / Joaquim Garrabou.
[LIFE INVASAQUA](#)

Figura 122. Medida: Investigación de fanerógamas.

INTERVENCIONES ESTRATÉGICAS SOBRE LOS SERVICIOS URBANOS

Conjunto de actuaciones de urbanización orientadas a la adaptación de las infraestructuras y servicios técnicos urbanos frente al riesgo de inundación

Naturaleza

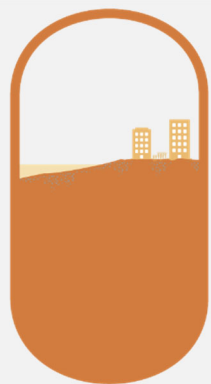
Estructural

Dimensión

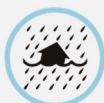
Física-Urbana

Estrategia

Acomodación Estructural
Retroceso-Planificación



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Iqxcgdf.3q#
soyld#



Iqxcgdf.3q#
ccwhud#



Dxp hqr:# gh#
qlyhdyhdp du#



Las obras del colector de Llevant, la clave para regenerar el litoral del Besós. Fuente: [La Vanguardia](#).

Figura 123. Medida: Intervenciones estratégicas sobre los servicios urbanos.

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Técnicas de gestión de aguas pluviales y planeamiento urbano para pretender imitar procesos hidrológicos en el desarrollo urbanístico, controlando la escorrentía en el paisaje urbano.

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

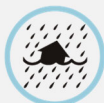
Física-Urbana

Estrategia

Acomodación
Estructural



Riesgo/impacto
sobre el que actúa
:



Iqxxgdf.3q#
soyld#



I7xxgdf.3q#
ccwhud#



Dxp hqr:# gh#
qlyhghdp du#



Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDs).

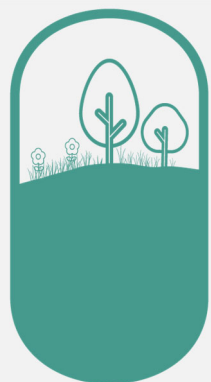
Figura 124. Medida: Sistemas urbanos de drenaje sostenible.

DISMINUCIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR. AUMENTAR EL ALBEDO

Uso de materiales de alta reflectancia, como pavimentos, techos blancos o verdes, que reduzcan la absorción de calor en zonas urbanas, moderando las temperaturas y mejorando el confort térmico en la ciudad.

Naturaleza

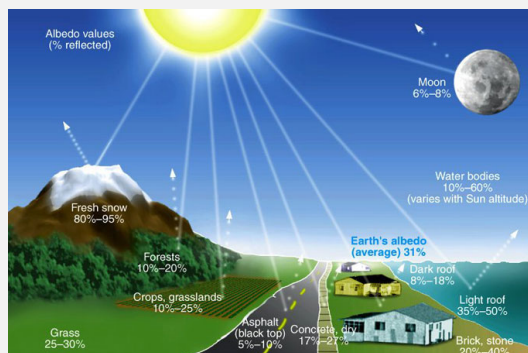
Basada en procesos naturales



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Lqfuhp hqwr# gh#
aiv#khp shudwcuiv#



Valores promedio de albedo de diferentes superficies terrestres. Infografía: Johns Hopkins University [Cuaderno de cultura científica](#)

Dimensión

Física-Urbana

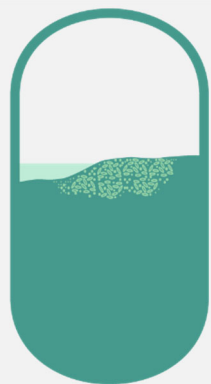
Estrategia

Acomodación Estructural

Figura 125. Medida: Disminución del efecto isla de calor. Aumentar el albedo.

ADAPTACIÓN DEL SUSTRATO ROCOSO

Tratamiento de los afloramientos rocosos y su acomodación como espacio recreativo



Riesgo/impacto
sobre el que actúa :



Hurvišq#
frwhud#



Iŋxqgdŋšq#
ccwhud#



Dxp hqwr# ghđ#
qlyhđ#



Pasarela en la playa de Hok
Oslo, Noruega
Østengen & Bergo AS

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental-Socioeconómica

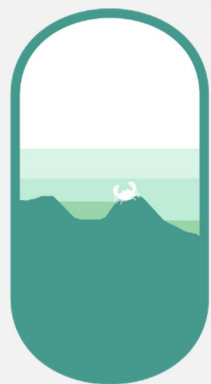
Estrategia

Acomodación Estructural

Figura 126. Medida: Adaptación del sustrato rocoso.

PISCINAS DE MAREA EN SUSTRATO ROCOSO

Tratamiento de los afloramientos rocosos y su acomodación como espacio natural y de baño



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Hurviſq#
frwhud#



Iŋxqgdfſq#
ccwhud#



Dxp hqwr# ghđ
qlyhđghđp dũ#

#



Piscinas das marés Alvaro Siza, Leça de Palmeira, Oporto, Portugal (Fuente: [Urbipedia](https://www.urbpedia.com/))

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física

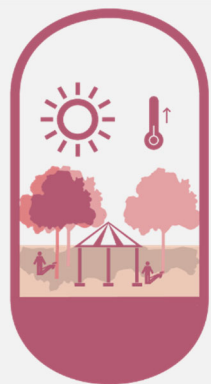
Estrategia

Acomodación Estructural

Figura 127. Medida: Piscinas de marea en sustrato rocoso.

REFUGIO CLIMÁTICO

Espacios habilitados con sombra y agua para paliar los episodios de isla de calor



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Lqfuhp hqwr# gh#
aiv#khp shudwcuiv#



Refugio climático. Imagen: [Levante-EMV](#)

Naturaleza

No estructural

Dimensión

Física-Urbana

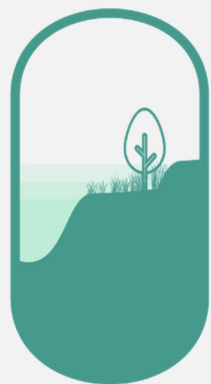
Estrategia

Acomodación con Flora y Fauna

Figura 128. Medida: Refugio climático.

PARQUE LITORAL

Parque diseñado como espacio área de protección frente a las inundaciones marítimas con funciones recreativas, educativas y deportivas



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Iqxqgdffsq#
frwhtd#



Dxp hqr# gh#
qlyhghghd# du#



Iqfuhp hqr# gh#
aivkhp shdwuav#



Frqwdp lqdfsq#
dvp rviãulfd#



Frqwdp lqdfsq#
dfëwüfd#



Ordenación Llevant Mar
Gavà, Baix Llobregat, Barcelona
Batlle i Roig

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Urbana

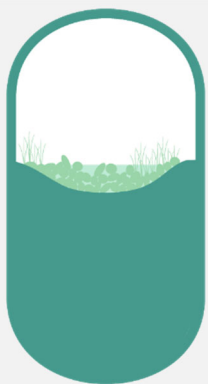
Estrategia

Acomodación con Flora y Fauna

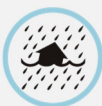
Figura 129. Medida: Parque litoral.

SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

Sistemas urbanos de drenaje sostenible del tipo estanques o lagunas de infiltración.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



lgxqgdf13q#
soxy1ld#



Parque del Marjal de Alicante

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Urbana

Estrategia

Acomodación con Flora y Fauna

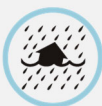
Figura 130. Medida: Sistemas urbanos de drenaje sostenible.

RESTAURACIÓN DE S'ESTANYOL

Restauración del humedal s'Estanyol, previamente existente, recuperación del sistema natural de pluviales y retroceso del DPMT.



Riesgo/impacto
sobre el que actúa :



lqxqgdf13q#
soxy1d#

#



Ordenación Llevant Mar
Gavà, Baix Llobregat, Barcelona
Batlle i Roig

Naturaleza

Basada en procesos naturales

Dimensión

Física-Ambiental

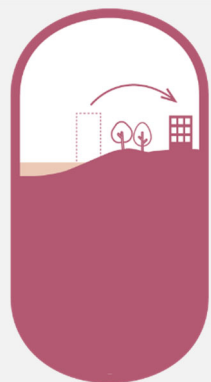
Estrategia

Acomodación con Flora y Fauna

Figura 131. Medida: Restauración de s'Estanyol.

RETIRADA/REUBICACIÓN DE ELEMENTOS EN EL DPMT

Traslado/Retirada de las infraestructuras activos y/o inmuebles existentes desde su ubicación actual a una ubicación carente de riesgo.



**Riesgo/impacto
sobre el que actúa :**



Hurvíſq#
frvhuđ#



Iqxqgdfſq#
frvhuđ#



Dxp hqwr# ghđ#
qlyhđghđp duđ#



Iqxqgdfſq#
soxyđđ#



Inmuebles sobre un acantilado en Mallorca. Fuente: [Última Hora](#)

Naturaleza

No estructural

Dimensión

Física-Ambiental-Socioeconómica-Urbana

Estrategia

Retroceso-Planificación

Figura 132. Medida: Retirada/Reubicación de elementos en el DPMT.



Cofinanciado por
la Unión Europea

LIFE ADAPT CALA MILLOR



Cofinanciado por
la Unión Europea



www.LifeAdaptCalaMillor.com

Coordinador:



Socios:



Entidades afiliadas:



Con el apoyo de:

