



EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL EDIFICIO DE LA SOCIEDAD BALNEARIO DE LA CONCHA

CONTENIDO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1.1 | Objeto del estudio..... | 6 |
| 1.2 | Marco estratégico y normativo de referencia..... | 6 |
| 1.2.1 | Ley de Costas y Reglamento (Art. 92 del RGC) | 6 |
| 1.2.2 | Ley 2/2013, de 29 de mayo: Disposición Adicional Octava | 7 |
| 1.2.3 | Otros instrumentos normativos y estratégicos relevantes | 7 |
| 2 | CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO | 8 |
| 2.1 | Localización y configuración general | 8 |
| 2.2 | Batimetría de la zona de estudio | 10 |
| 2.3 | Descripción del Edificio de la Sociedad Balneario..... | 10 |
| 3 | CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y DINÁMICA DEL MEDIO COSTERO..... | 13 |
| 3.1 | Climatología | 13 |
| 3.2 | Características hidrológicas | 17 |
| 3.3 | Caracterización geomorfológica y dinámica litoral | 17 |
| 3.4 | Características hidrodinámicas | 19 |
| 4 | ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y CONDICIONES DE CONTORNO..... | 23 |
| 4.1 | Marco conceptual del IPCC..... | 23 |
| 4.2 | Escenarios RCP seleccionados..... | 23 |
| 4.3 | Aplicación al análisis de riesgo costero | 23 |
| 5 | EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTOS ESPERADOS..... | 27 |
| 5.1 | Inundabilidad..... | 27 |
| 5.1.1 | Inundabilidad Costera | 27 |
| 5.1.2 | Inundabilidad Pluvial | 29 |
| 5.2 | Erosión y dinámica sedimentaria litoral..... | 30 |
| 5.3 | Cambios en la dinámica marina..... | 31 |
| 5.4 | Presiones hidrodinámicas | 33 |
| 5.5 | Ánálisis socioeconómico..... | 33 |
| 6 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 36 |
| 6.1 | Riesgos Identificados..... | 36 |
| 6.2 | Medidas de Protección y Adaptación | 38 |
| 6.3 | Consideraciones para la Concesión | 39 |
| 7 | REFERENCIAS | 40 |
| | ANEXO - PLANOS | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Plano 01 - Situación del balneario (escala 1:5.000) | 9 |
| Figura 2. Batimetría de la bahía de La Concha. | 10 |
| Figura 3. Vista aérea del edificio. | 11 |
| Figura 4. Climatología media en Donostia / San Sebastián (Igeldo, 1981-2010). Representación mensual de las variables climatológicas más relevantes registradas en la estación de Igeldo, dónde: T: Temperatura media mensual (°C), TM: Temperatura máxima media (°C), Tm: Temperatura mínima media (°C), R: Precipitación media mensual (mm), H: Humedad relativa media (%), DR: Días con precipitación ≥1 mm, DN: Días de nieve, DT: Días de tormenta, DF: Días de niebla, DH: Días de helada, DD: Días despejados, I: Horas de sol mensuales [5]..... | 14 |
| Figura 5. (a) Localización del nodo SIMAR 3179032, situado frente a la costa de Gipuzkoa (b) Rosa de velocidad media del viento correspondiente al periodo enero 1958-febrero 2024. | 15 |
| Figura 6. Rosas de viento estacionales correspondientes al nodo SIMAR 3179032 (a) Invierno (diciembre-febrero) (b) Primavera (marzo-mayo) (c) Verano (junio-agosto) (d) Otoño (septiembre-noviembre)..... | 16 |
| Figura 7. Mapa litológico del litoral de Donostia [8] | 18 |
| Figura 8. Mapa geomorfológico del litoral de Donostia [8]..... | 19 |
| Figura 9. Nodo SIMAR 3179032 para el periodo enero 1958 - septiembre 2023. (a) Rosa anual de oleaje mostrando la distribución de altura significativa (Hs). (b) Régimen medio anual de altura significativa (Hs). | 21 |
| Figura 10. Datos de oleaje del nodo SIMAR 3179032 para el periodo 2015-2025. Serie temporal de altura significativa y periodo medio (Tm). | 21 |
| Figura 11. Tablas Hs- Dirección anual en el nodo SIMAR 3179032 para el periodo enero 1958 - septiembre 2023. (a) Distribución de altura significante. (b) Distribución de dirección del oleaje. (c) Tabla Altura Significante (Hs) - Dirección de Procedencia en %..... | 22 |
| Figura 12. Proyecciones del aumento del nivel medio del mar global bajo diferentes RCP [12]. a) Esquema del aumento en la frecuencia de fenómenos extremos del nivel del mar, que pasarán de ser centenarios a recurrentes por el ascenso del nivel medio del mar. (b) Año en que se prevé que esos eventos ocurran anualmente, según RCP 2.6 y 8.5, en 439 ubicaciones costeras. Círculos más oscuros indican una transición más temprana; blancos, que no ocurrirá antes de 2100. (c) Diferencias entre escenarios: ubicaciones donde la transición se retrasa más de 10 años bajo RCP 2.6 frente a RCP 8.5, mostrando el efecto de la mitigación..... | 25 |
| Figura 13. Mapa de zonas inundables bajo distintos escenarios en la playa de La Concha [8]..... | 28 |
| Figura 14. Superficie inundable pluvial. Inundabilidad pluvial con Tr = 25 años (2041-2070, RCP 8.5)[8] | 29 |
| Figura 15. Tendencia de la inundabilidad pluvial asociada al cambio climático (2041-2070, RCP 8.5) [8] | 30 |
| Figura 16. Cargas de cálculo sobre los cerramientos de la fachada de la planta baja del Balneario [4] | 33 |
| Figura 17. Análisis socioeconómico bajo escenarios de ascenso del nivel medio del mar en la playa de La Concha: (a) afección a suelo residencial; (b) población potencialmente afectada por inundación costera (unidad espacial: celda de 50 m). | 35 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Proyecciones del aumento del nivel medio global del mar para 2081-2100 (respecto a 1995-2014)[13] | 26 |
| Tabla 2. Valores estimados de retroceso de línea de costa y su correspondiente indicador de erosión para la playa de La Concha, bajo distintos escenarios de ascenso del NMM. | 31 |
| Tabla 3. Variaciones proyectadas en variables hidrodinámicas en el nodo Latitud: 43.4000°N; Longitud: -2.0000°E, bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. | 32 |
| Tabla 4. Matriz de riesgos climáticos para el edificio de la Sociedad Balneario de La Concha. | 37 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto del estudio

El presente estudio tiene como objeto la evaluación técnica de la vulnerabilidad y exposición del edificio de la Sociedad Balneario de La Concha (San Sebastián, Gipuzkoa) frente a los efectos previsibles del cambio climático en el medio y largo plazo, con horizonte temporal a los años 2050 y 2100. Esta evaluación se enmarca en el contexto del incremento proyectado del nivel medio del mar, el cambio en los patrones de oleaje y temporales extremos, así como la mayor incidencia de fenómenos hidrometeorológicos asociados a escenarios climáticos definidos por el IPCC (RCP 4.5 y RCP 8.5).

La motivación principal del estudio es proporcionar una base científica y cuantitativa que permita:

- Identificar los riesgos físicos (inundación, oleaje, erosión, socavación) que pueden afectar la estructura, cimentación y funcionalidad del edificio.
- Cuantificar la magnitud de dichos impactos bajo distintos escenarios climáticos extremos y plausibles.
- Proponer criterios técnicos de adaptación, tanto a nivel de diseño como de planificación y gestión del dominio público marítimo-terrestre.
- Apoyar la toma de decisiones administrativas en relación con la concesión de usos, la continuidad funcional del edificio y la adecuación a las normativas vigentes en materia de costas y cambio climático.

1.2 Marco estratégico y normativo de referencia

1.2.1 Ley de Costas y Reglamento (Art. 92 del RGC)

El presente estudio se enmarca en el cumplimiento del Reglamento General de Costas, aprobado mediante el Real Decreto 876/2014, cuyo Artículo 92 establece el contenido obligatorio de las evaluaciones de los efectos del cambio climático en la planificación, ordenación y autorización de actuaciones en el Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT).

Artículo 92. Contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático.

1. “La evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y, en general, todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en los siguientes períodos de tiempo:
 - a) En caso de proyectos cuya finalidad sea la obtención de una concesión, el plazo de solicitud de la concesión, incluidas las posibles prórrogas.
 - b) En caso de obras de protección del litoral, puertos y similares, un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud.”
2. “Se deberán considerar las medidas de adaptación que se definan en la estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, establecida en la disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo.”

Este artículo impone, por tanto, la obligación de evaluar la evolución de los factores climáticos costeros más relevantes durante el horizonte temporal correspondiente a la duración de la concesión solicitada (o mínimo 50 años para obras costeras). Además, obliga a incorporar las medidas de adaptación identificadas en la Estrategia nacional específica, referenciada en la normativa de rango superior.

1.2.2 Ley 2/2013, de 29 de mayo: Disposición Adicional Octava

La Ley 2/2013, de Protección y Uso Sostenible del Litoral y de modificación de la Ley de Costas, incorpora una Disposición Adicional Octava en la que se establece expresamente el mandato de redactar una Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, de aplicación en todos los procedimientos que afecten al DPMT. La disposición establece:

“El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente elaborará y mantendrá actualizada una estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, como instrumento de planificación en esta materia. Esta estrategia, con base en el conocimiento científico y técnico más actualizado, identificará los tramos costeros vulnerables y establecerá objetivos, medidas y plazos para su adaptación.”

En cumplimiento de esta ley, la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar elaboró y aprobó, con fecha 24 de julio de 2017, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española (ENACC).

1.2.3 Otros instrumentos normativos y estratégicos relevantes

- Estrategia KLIMA 2050 (Gobierno Vasco): Marco autonómico de referencia en adaptación al cambio climático, alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 13) y las directrices de resiliencia climática.
- Plan Territorial Sectorial de Protección y Ordenación del Litoral de la Comunidad Autónoma del País Vasco (PTS Litoral, en proceso de revisión): documento clave de ordenación costera, que debe incorporar escenarios de cambio climático.
- Directrices de Ordenación Territorial 2019 (DOT): establecen la obligación de considerar el ascenso del nivel del mar y eventos extremos como criterio transversal en la planificación territorial.
- Ley Vasca de Cambio Climático (en tramitación): contempla la actualización del PTS del litoral y la inclusión obligatoria de análisis de vulnerabilidad climática en los usos del DPMT.

2 CARACTERIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

2.1 Localización y configuración general

El presente estudio se centra en el edificio ocupado actualmente por la Sociedad del Balneario, ubicado en el tramo oriental del paseo marítimo de La Concha, en el municipio de Donostia. Esta infraestructura se encuentra emplazada sobre una franja litoral directamente vinculada al DPMT, razón por la cual está sujeta al régimen concesional establecido en la Ley 22/1988, de Costas, y su normativa de desarrollo.

La edificación constituye un activo destinado a la explotación de instalaciones de uso balneario y recreativo, actividad que forma parte del objeto social de la entidad titular, la cual opera bajo el marco jurídico de una sociedad de responsabilidad limitada. Su ubicación actual se enmarca en un entorno urbano costero consolidado, con accesos peatonales directos desde el paseo y contacto físico inmediato con la playa.

Desde el punto de vista geométrico y cartográfico, el ámbito objeto de estudio se delimita mediante los siguientes elementos:

- Sistema de coordenadas: UTM - huso 30N, proyección ETRS89
- Coordenadas aproximadas:
 - X ≈ 589.265 m
 - Y ≈ 4.793.025 m
- Altitud media del terreno: en torno a +5,40 m respecto al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) [1] y +5,104 m respecto al Nivel Medio del Mar local (registrado en el mareógrafo del Puerto de Bilbao [2]).
- Plano de situación general: véase Figura 1
- Para los planos de detalle del emplazamiento, véase el Anexo.

La superficie ocupada por la instalación principal, incluyendo elementos constructivos anexos (plataforma, escalinatas, pasarelas de acceso y barandillas), se estima en torno a 1.500 m², con parte significativa de la infraestructura ubicada sobre zonas de plataforma baja en contacto con la arena.

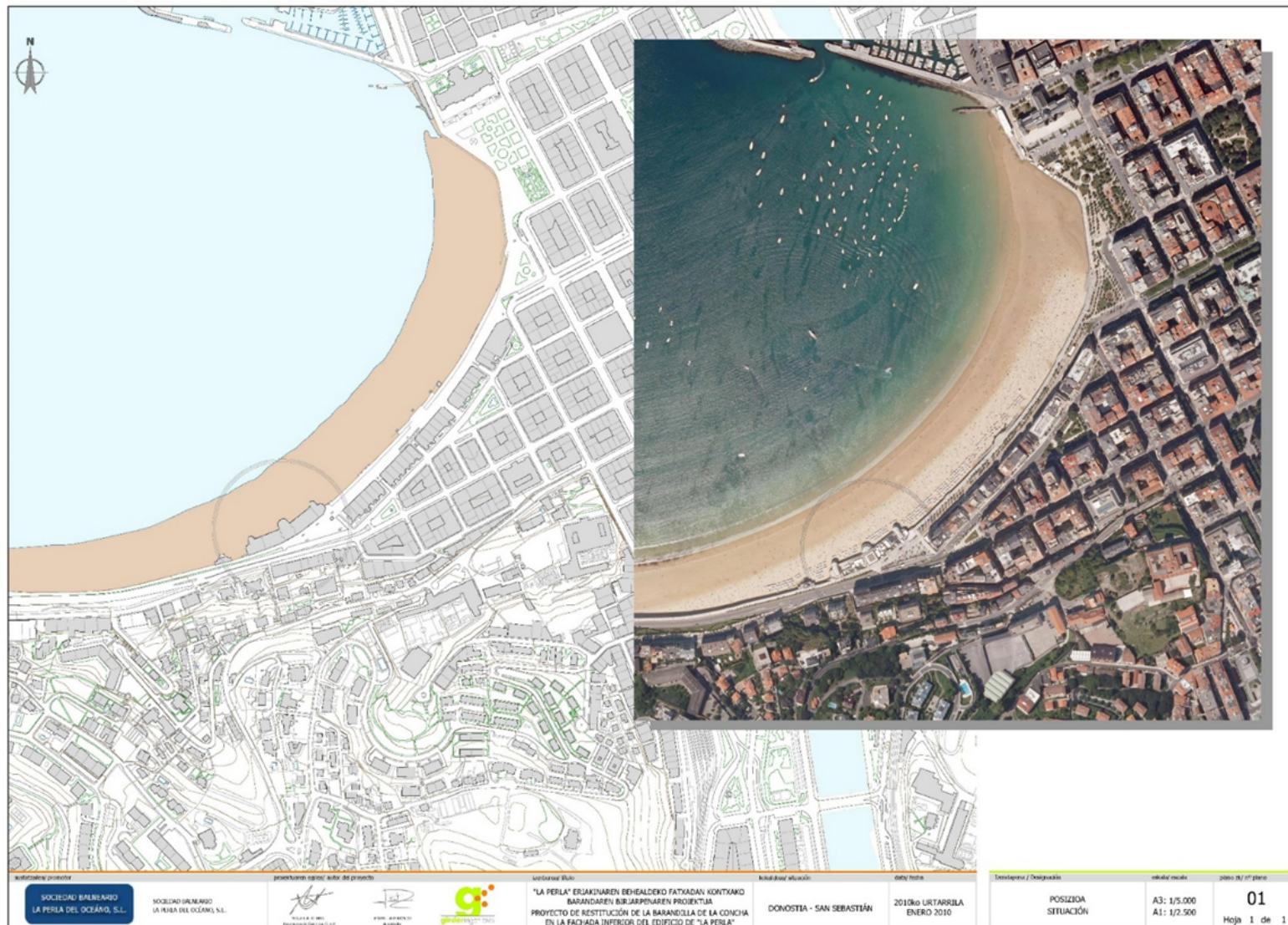


Figura 1. Plano 01 - Situación del balneario (escala 1:5.000)

2.2 Batimetría de la zona de estudio

La batimetría de la costa en la que se encuadra la bahía de La Concha presenta una configuración suave y progresiva, sin presencia de cañones submarinos ni accidentes morfológicos significativos hasta la isóbata de -500 m. A una distancia aproximada de 25 km mar adentro desde la línea de costa, se alcanzan profundidades superiores a los 500 m. Sin embargo, en el entorno inmediato exterior de la bahía de La Concha, las profundidades no superan los 50 m.

Dentro de la bahía, tras la isla de Santa Clara, el fondo marino muestra una pendiente suave y homogénea. Se identifica un canal de entrada bien definido al este de la isla, donde los calados varían desde aproximadamente 10 m en su zona interior hasta 20 m en la zona exterior. Frente a la isla, en su cara orientada al mar abierto, se localiza un pequeño bajo donde las profundidades descenden hasta los 10 metros en un entorno general de 25 m de calado.

Las cotas batimétricas representadas en la figura siguiente corresponden al interior de la bahía, y se encuentran referidas al cero hidrográfico (sistema de referencia vertical utilizado por el Instituto Hidrográfico de la Marina) [3], que se encuentra 2,133 m por debajo del NMMA, 2,429 m por debajo del NMM local y 7 cm por debajo del Cero del Puerto de Bilbao (CPB).

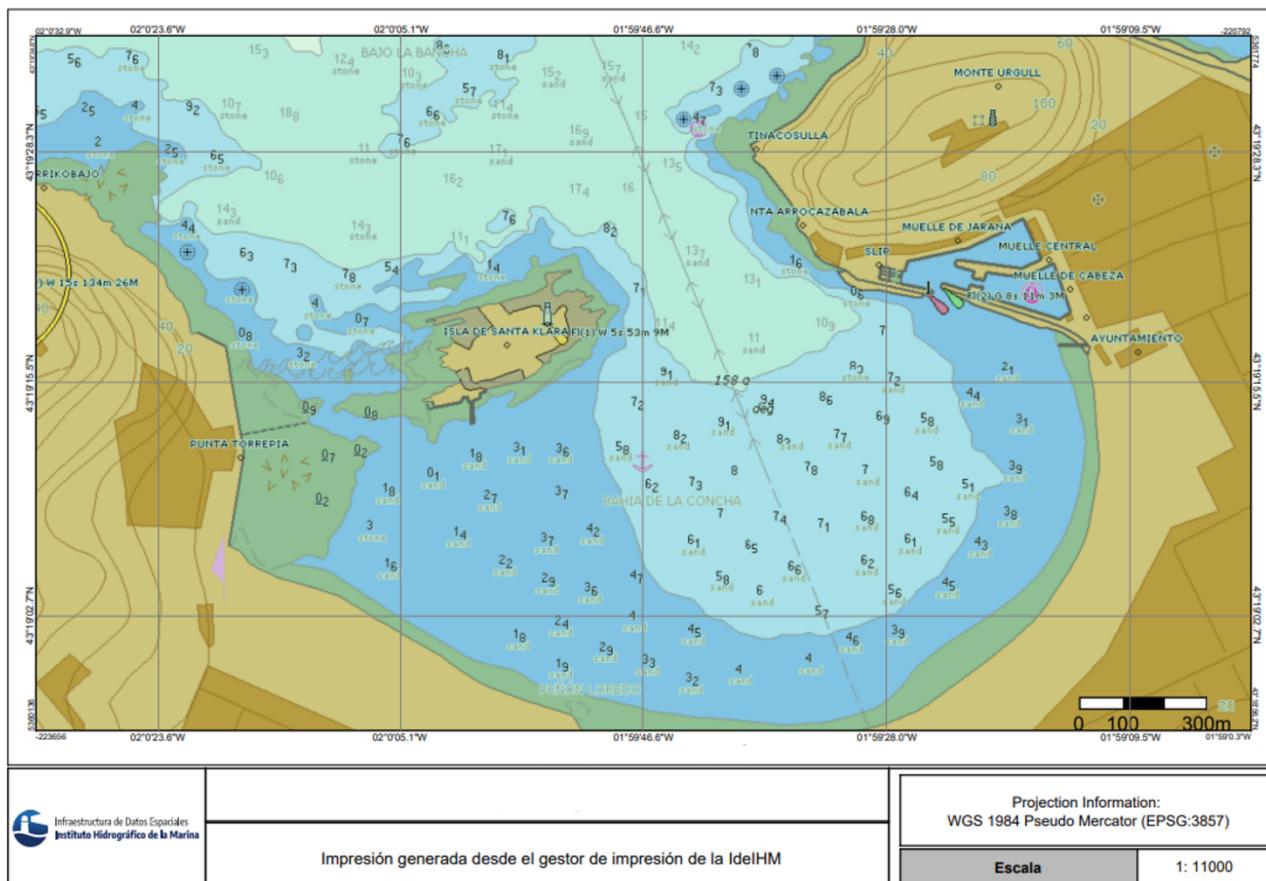


Figura 2. Batimetría de la bahía de La Concha.

2.3 Descripción del Edificio de la Sociedad Balneario

El Edificio de la Sociedad Balneario es un edificio singular de dos plantas más sótano, adosado estructuralmente al Paseo de La Concha y construido en el primer tercio del siglo XX. Está destinado a actividades balnearias, recreativas y de restauración.

El edificio tiene una forma longitudinal, adaptada a la curvatura del paseo marítimo de La Concha, y se desarrolla en varios niveles escalonados, integrándose con el desnivel natural entre el paseo y la playa.

Su diseño incluye tres pabellones de fachada circular acristalada (dos laterales y uno central) unidos por tramos dos rectos, con terrazas exteriores y accesos directos a la playa.



Figura 3. Vista aérea del edificio.

El edificio alberga cuatro locales con diferentes actividades y necesidades: Gimnasio Eguzki, Centro Talaso-Sport “La Perla”, Discoteca Bataplán y C.D Atlético San Sebastián.

Las cotas estructurales principales son las siguientes:

- Terraza superior (cubierta): +8,70 m NMMA / +10,43 m CPB
- Planta baja (solera): +5,45 m NMMA / +7,18 m CPB
- Sótano: +2,05 m NMMA / +3,78 m CPB

La solera del sótano se encuentra 0,91 m por debajo del nivel de la pleamar viva media. El sótano se encuentra protegido por los muros del propio edificio, y contiene pequeñas ventanas circulares.

La cota de la arena en su intersección con la fachada posterior del edificio es variable, en función del estado de la playa. En general, en condiciones continuadas de buen tiempo, se produce una acumulación de arena en la parte superior de la playa, al ir aumentando la anchura de la playa seca. En ese caso, la cota de la arena en la fachada posterior está ligeramente por encima del nivel de las pleamaras vivas medias, es decir, en torno a +4,40 m CPB (+2,67 m NMMA) [4].

La estructura del edificio es mixta, con pilares y vigas de hormigón armado, cerramientos acristalados y carpinterías metálicas. La fachada marítima está expuesta a la acción directa del oleaje en condiciones de temporal, especialmente en la planta baja y el sótano, donde se han registrado episodios de inundación en eventos extremos como el de marzo de 2008.

En respuesta a los daños sufridos durante los temporales de 2008, se llevaron a cabo ese mismo año obras de refuerzo estructural en la fachada marítima del edificio, centradas en la planta baja de los locales correspondientes al Centro de Talaso-Sport de la Perla y al discoteca Bataplan. Estas actuaciones incluyeron la sustitución de las carpinterías originales por estructuras metálicas de mayor resistencia, ancladas directamente a la estructura portante mediante premarcos de acero inoxidable, así como la instalación de barandillas de vidrio laminado templado. Estas medidas, diseñadas para disipar la energía del oleaje y minimizar la intrusión de agua, mejoraron significativamente la capacidad del edificio para resistir presiones hidrodinámicas extremas.

Estas actuaciones demostraron ser eficaces, ya que durante los temporales de 2014 las zonas intervenidas en 2008 sufrieron daños mínimos, en contraste con otras áreas del edificio que no habían sido reforzadas. Esta diferencia en el comportamiento frente a los temporales motivó la redacción de nuevos proyectos en 2014 para ampliar las medidas de protección a otras zonas del edificio, como el Gimnasio Eguzki y el Club Deportivo Atlético San Sebastián, que habían quedado fuera del ámbito de actuación inicial.

3 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y DINÁMICA DEL MEDIO COSTERO

3.1 Climatología

La ciudad de Donostia, y en particular su franja litoral donde se localiza la playa de La Concha, se encuentra bajo la influencia de un clima templado oceánico húmedo, clasificado como Cfb según Köppen. Esta configuración climática resulta del posicionamiento geográfico de la costa vasca respecto a la circulación atmosférica general del Oeste, así como de su proximidad al mar Cantábrico, que modera las temperaturas y contribuye a una elevada humedad relativa durante todo el año.

El análisis climático de esta zona se basa en los registros de la estación meteorológica de Igeldo [5], ubicada a unos 218 metros sobre el nivel del mar y considerada representativa de las condiciones de la fachada marítima donostiarra. Según los datos climáticos normales del periodo 1981-2010, la temperatura media anual en Igeldo es de 13,5°C, observándose una baja amplitud térmica anual, con inviernos moderadamente templados y veranos suaves. Las temperaturas medias del mes más frío, enero, se sitúan en torno a los 8,5°C, mientras que, en agosto, el mes más cálido, se alcanzan temperaturas medias de 19,5°C, lo que evidencia una oscilación térmica anual moderada, inferior a los 12°C. Esta suavidad térmica se ve reforzada por la elevada nubosidad característica de la zona, que atenúa tanto la pérdida de calor por irradiación nocturna en invierno como el calentamiento excesivo durante el verano.

Desde el punto de vista térmico, los extremos registrados en la estación de Igeldo han oscilado entre -12,1°C (mínima absoluta, 03 de febrero de 1956) y 39,7°C (máxima absoluta, 18 de junio de 2022). Estas oscilaciones, aunque puntuales, indican la presencia ocasional de masas de aire extremo, especialmente asociadas a situaciones de viento sur de tipo föhn, más frecuentes en invierno, que pueden elevar las temperaturas de forma abrupta.

La humedad relativa en la zona costera es elevada, con valores medios mensuales comprendidos entre el 73% y el 83%, y una media anual próxima al 78%. Esta alta humedad se mantiene relativamente constante a lo largo del año, con mínimos registrados en marzo y máximos durante los meses de julio y agosto, coincidiendo con la mayor temperatura superficial del mar y una mayor tasa de evaporación.

En términos de insolación, San Sebastián se caracteriza por un bajo porcentaje de horas de sol despejado. En la estación de Igeldo, la insolación media anual se sitúa en torno a las 1.816 horas, lo que representa aproximadamente un 41 % de la insolación teórica. Este valor está fuertemente influenciado por la persistencia de la nubosidad y la elevada frecuencia de días cubiertos (alrededor de 170 días al año). En contraposición, los días completamente despejados no superan los 34 días al año en promedio.

La siguiente figura muestra un resumen general de las variables climatológicas para esta estación, disponible para el periodo 1981-2010.

Climatología de Donostia - Estación de Igeldo (1981–2010)

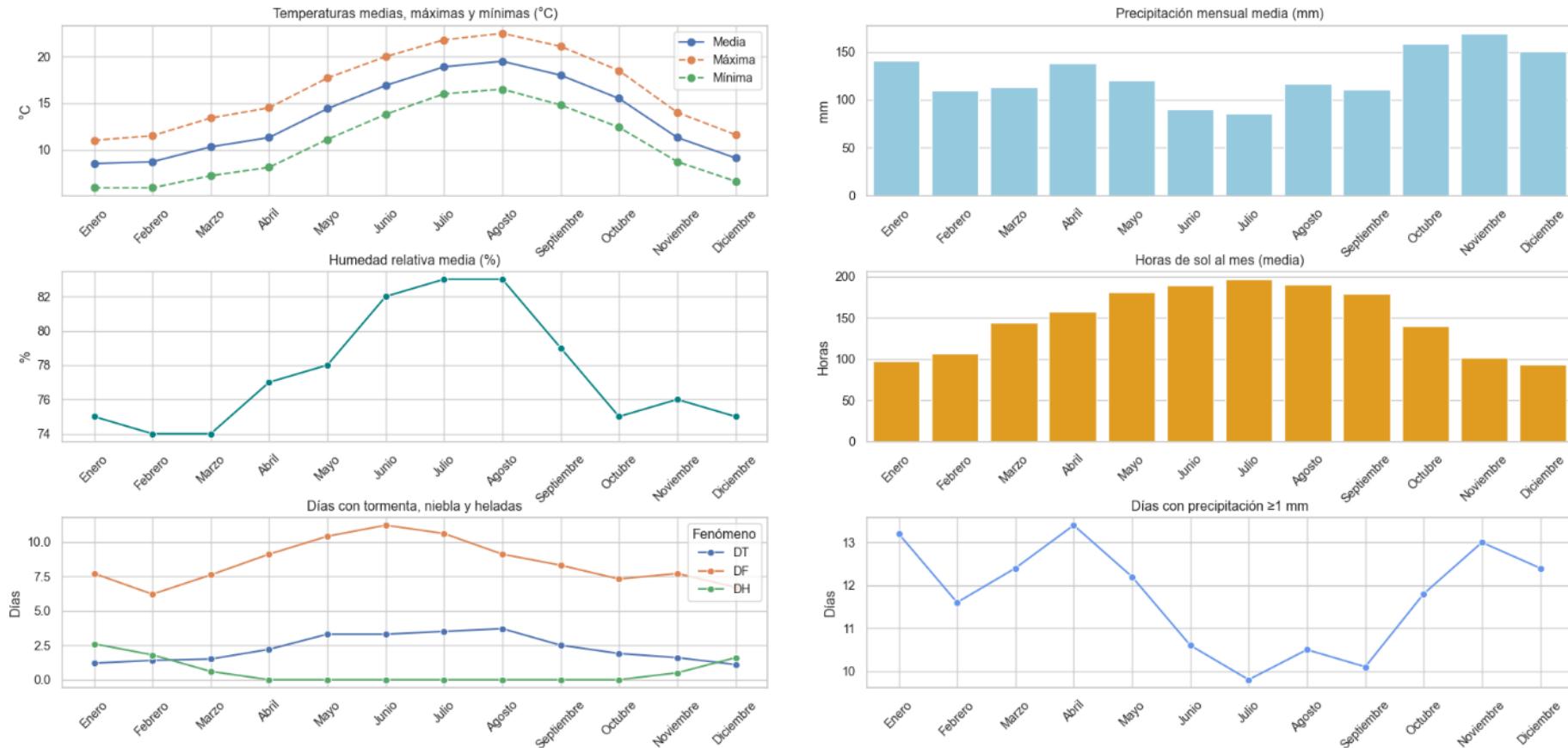


Figura 4. Climatología media en Donostia / San Sebastián (Igeldo, 1981-2010). Representación mensual de las variables climatológicas más relevantes registradas en la estación de Igeldo, donde: T: Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$), TM: Temperatura máxima media ($^{\circ}\text{C}$), Tm: Temperatura mínima media ($^{\circ}\text{C}$), R: Precipitación media mensual (mm), H: Humedad relativa media (%), DR: Días con precipitación ≥ 1 mm, DN: Días de nieve, DT: Días de tormenta, DF: Días de niebla, DH: Días de helada, DD: Días despejados, I: Horas de sol mensuales [5].

El régimen de viento en el entorno costero está condicionado por la interacción entre factores orográficos y la dinámica atmosférica del litoral cantábrico. Predominan los vientos del cuadrante noroeste (NW-NNW), especialmente en primavera y otoño, coincidiendo con la mayor incidencia de temporales marinos que afectan a la costa de Gipuzkoa. En invierno, es habitual la entrada de vientos de componente sur (S), asociados a situaciones de föhn, mientras que en verano predominan los vientos del norte (N), inducidos por el anticiclón de las Azores sobre el margen oriental del Golfo de Vizcaya.

Según los registros de la estación meteorológica de Igeldo, la velocidad media anual del viento es de aproximadamente 15,1 km/h, si bien durante episodios extremos –asociados a ciclogénesis explosivas o borrascas profundas– se han registrado rachas máximas superiores a los 180 km/h, con una notable contribución de direcciones S-SW. Esta variabilidad interanual y estacional está reflejada también en los datos oceanográficos obtenidos a partir del nodo SIMAR 3179032, facilitado por Puertos del Estado, que ofrece series temporales de viento y oleaje derivadas de modelización numérica atmosférica de alta resolución [2].

La rosa de vientos anual para el periodo 1958-2024 confirma la dominancia de los sectores W-NW-NNW, con velocidades significativas asociadas, y un porcentaje de calmas del 8,43 % (Figura 5). Este patrón general se matiza al observar las rosas de viento estacionales (Figura 6), que reflejan la transición de los vientos del sur en invierno a los del norte en verano, acompañados de una disminución relativa en la frecuencia de situaciones de calma durante los meses de mayor inestabilidad atmosférica (otoño e invierno). Esta distribución direccional del viento no solo influye sobre la generación y propagación del oleaje incidente en la bahía, sino que también modula las corrientes superficiales, la estratificación de la columna de agua y, de forma indirecta, la dinámica sedimentaria del entorno del Balneario.

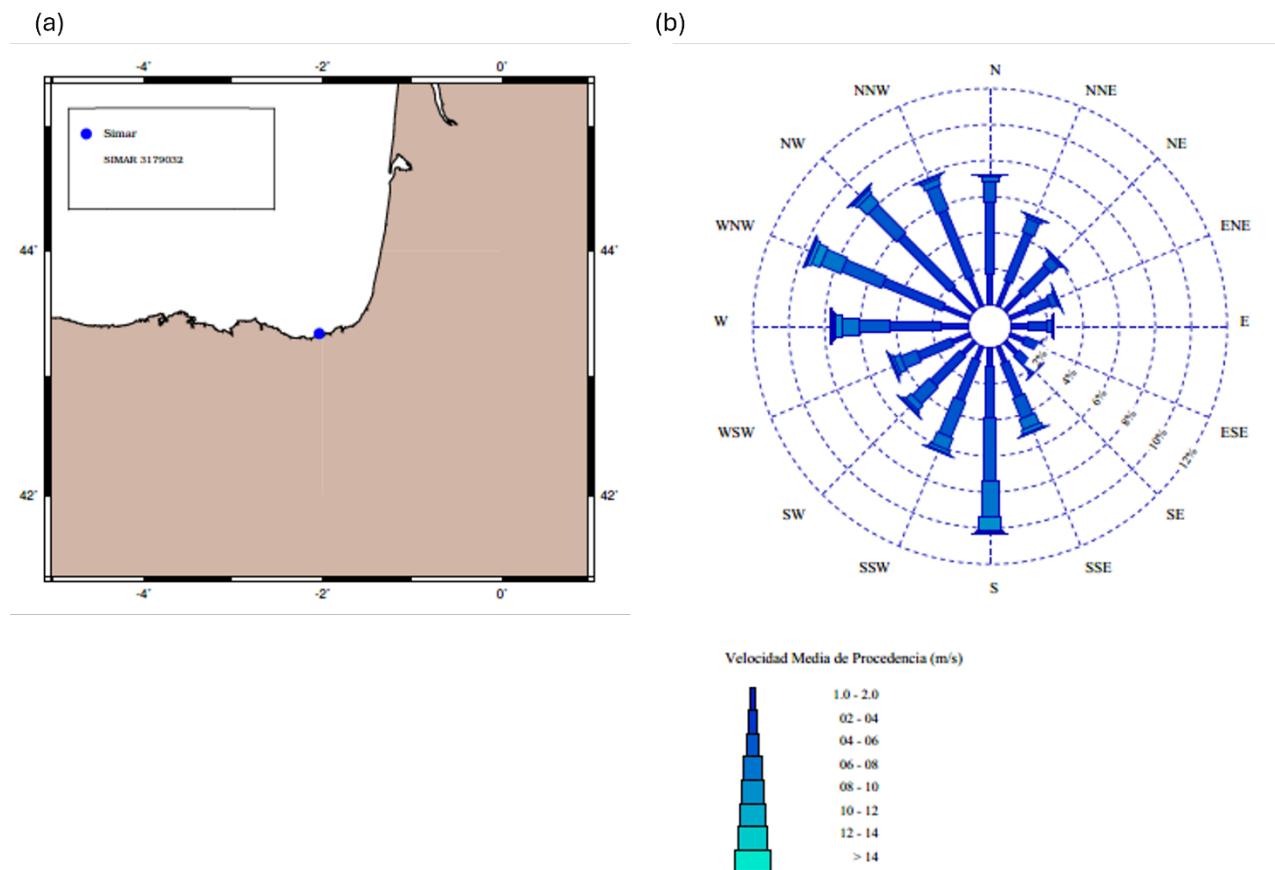


Figura 5. (a) Localización del nodo SIMAR 3179032, situado frente a la costa de Gipuzkoa (b) Rosa de velocidad media del viento correspondiente al periodo enero 1958-febrero 2024.

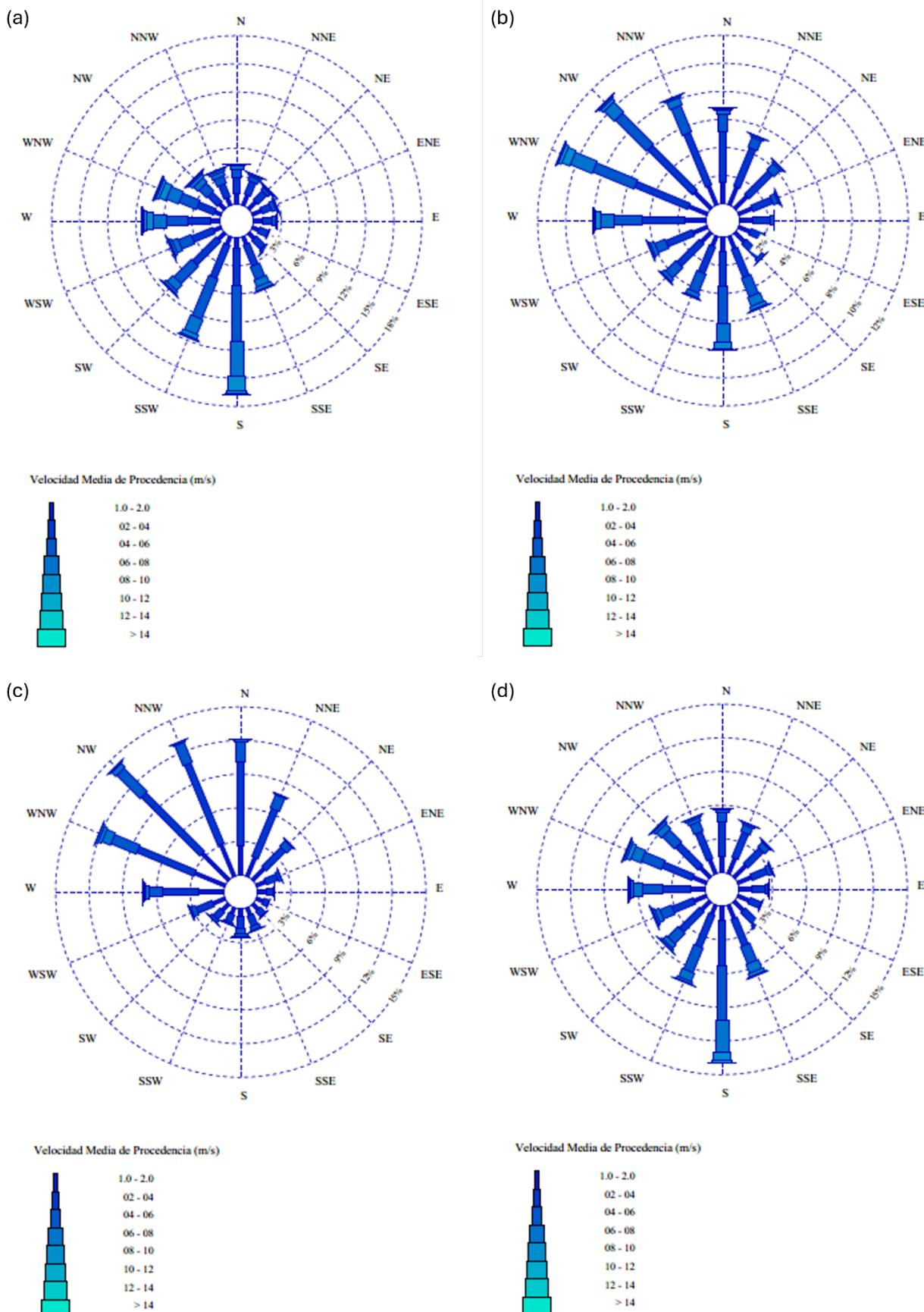


Figura 6. Rosas de viento estacionales correspondientes al nodo SIMAR 3179032 (a) Invierno (diciembre-febrero) (b) Primavera (marzo-mayo) (c) Verano (junio-agosto) (d) Otoño (septiembre-noviembre).

Este contexto climático tiene implicaciones directas en los procesos que condicionan la estabilidad del sistema litoral de La Concha y la exposición del edificio del Balneario a los efectos del cambio climático. La alta humedad, la frecuencia de precipitaciones, la persistente nubosidad y el régimen de vientos moderados a fuertes configuran un entorno donde la acción atmosférica y la interacción con el medio marino se combinan para definir un marco dinámico de riesgos ambientales, especialmente en un escenario futuro de intensificación de eventos extremos [6].

3.2 Características hidrológicas

La configuración hidrológica del entorno de la playa de La Concha está condicionada fundamentalmente por su localización dentro de una bahía semicerrada, con escasa influencia directa de aportes fluviales y una fuerte dependencia de las condiciones meteorológicas y marinas. Aunque el sistema pertenece a la cuenca hidrográfica del río Urumea, no existen aportes significativos de agua dulce en la zona de baño ni en las inmediaciones del edificio objeto de estudio. La desembocadura del Urumea se sitúa en el extremo oriental de la ciudad, y la configuración de la línea de costa, así como las dinámicas locales de circulación, minimizan cualquier efecto directo en la hidrología del entorno de La Concha.

En este contexto, el régimen hidrológico está dominado por dos factores principales: la precipitación atmosférica directa y la interacción con las aguas marinas, condicionadas a su vez por las mareas, el oleaje y las corrientes. Las precipitaciones son abundantes y persistentes a lo largo del año, con una media anual superior a los 1.500 mm registrada en estaciones representativas como Igeldo. Esta pluviometría se distribuye de forma relativamente homogénea, aunque presenta picos estacionales en otoño e invierno, donde se concentran los episodios de mayor intensidad.

La orografía urbana, el carácter impermeable de buena parte de los suelos urbanos y la limitada capacidad de infiltración hacen que las escorrentías superficiales urbanas cobren un papel relevante en episodios de precipitación intensa. Aunque el área inmediata a la playa no cuenta con cauces naturales permanentes, durante lluvias torrenciales pueden producirse sobrecargas en el sistema de drenaje, con potencial afección a la calidad del agua de baño, la estabilidad del sustrato arenoso y la funcionalidad de las infraestructuras costeras, incluida la edificación del Balneario.

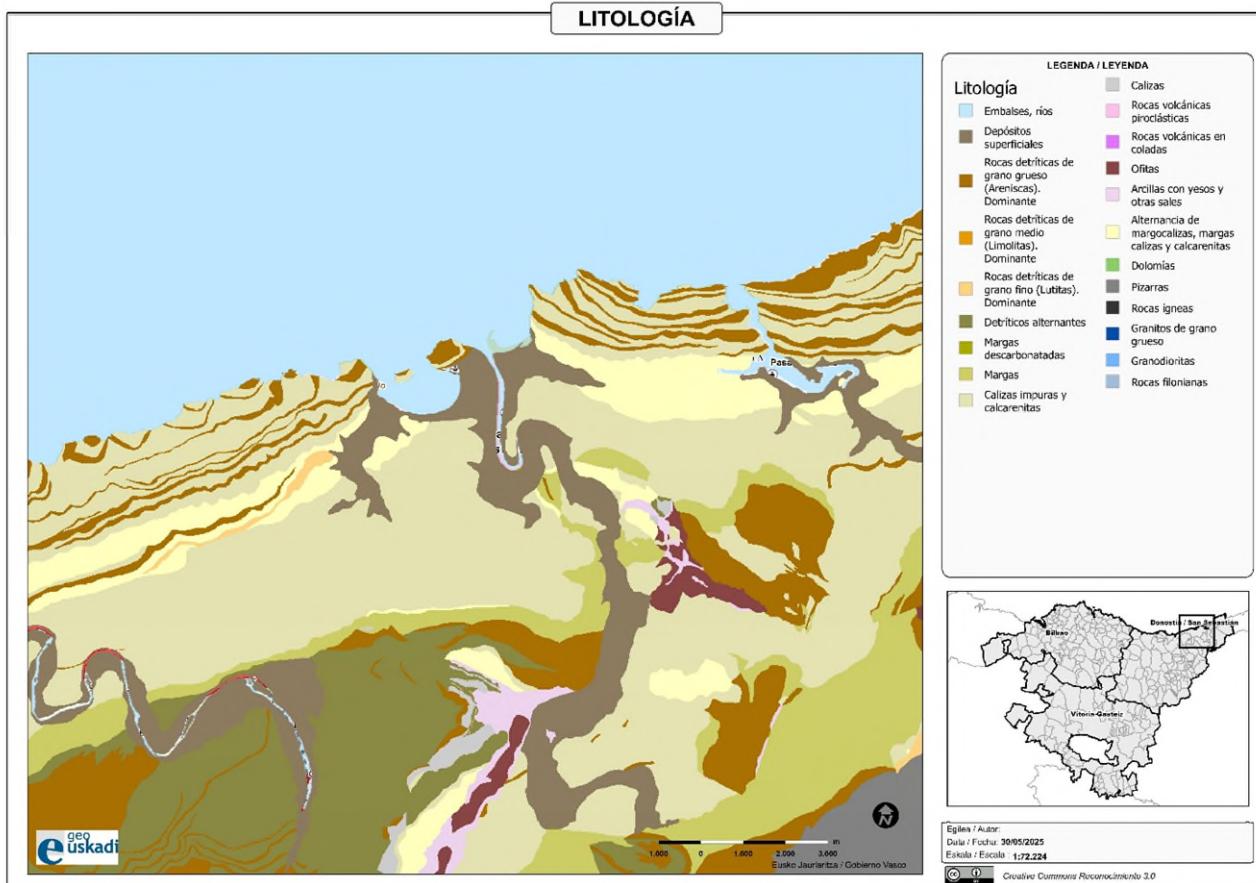
Asimismo, la limitada capacidad de renovación de aguas dentro de la bahía, combinada con la morfología semicerrada y los gradientes de salinidad y temperatura que pueden generarse tras episodios de lluvia intensa, influye en la hidrodinámica local, particularmente en la estratificación de la columna de agua y en procesos de retención temporal de aguas urbanas superficiales. Estos factores son especialmente relevantes desde la perspectiva de la gestión de la calidad ambiental y de los riesgos sanitarios en zonas de uso recreativo intensivo [7].

Por tanto, en ausencia de aportes fluviales significativos, la hidrología de la bahía de La Concha debe entenderse como un sistema híbrido atmosférico-marino, donde las precipitaciones, el drenaje urbano y la renovación por dinámica mareal actúan como principales moduladores del balance hídrico local. Este modelo adquiere mayor relevancia ante escenarios de cambio climático, en los que se prevé una intensificación de las precipitaciones extremas y un aumento del nivel del mar, ambos con potencial para alterar los patrones de escorrentía, salinidad y circulación en el entorno del Balneario.

3.3 Caracterización geomorfológica y dinámica litoral

El entorno físico en el que se emplaza el edificio de la Sociedad Balneario de La Concha se sitúa en un enclave geológico de notable singularidad dentro del arco costero vasco. Este espacio forma parte de la denominada *Cadena Terciaria Costera*, una alineación monoclinal que articula el litoral donostiarra mediante un relieve estructural abrupto, de dirección general E-W, y que constituye un frente erosivo continuo entre los cabos Higuer y Mendiorrotz.

Desde el punto de vista litológico, el sustrato geológico predominante está compuesto por areniscas cuarzosas del Eoceno, con cemento calcáreo y variable grado de cementación, intercaladas con niveles de lutitas y margas. Estas rocas presentan buzamientos muy elevados, alcanzando valores próximos a los 90° en puntos cercanos al Peine del Viento y la isla de Santa Clara. Esta disposición estratigráfica condiciona tanto la topografía como los procesos de erosión, facilitando la formación de acantilados subverticales y la acumulación de derrubios en su base por desprendimientos gravitacionales y procesos tafónicos inducidos por haloclastismo.



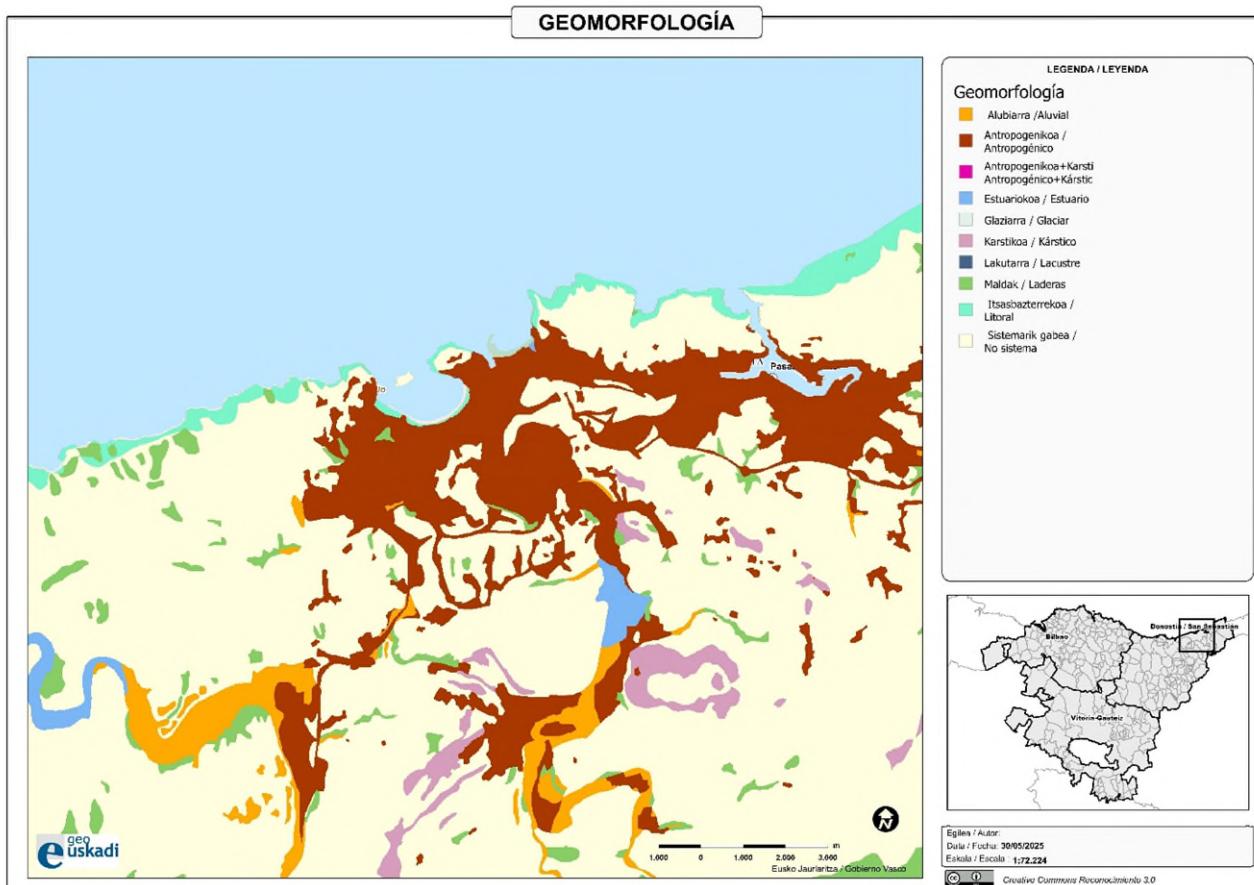


Figura 8. Mapa geomorfológico del litoral de Donostia [8]

Los acantilados adyacentes muestran alturas comprendidas entre los 30 y 50 metros, con una plataforma de abrasión poco desarrollada –raramente superior a los 100-125 m– lo que refuerza la energía del oleaje incidente en condiciones de temporal. La acción mecánica de las olas en este contexto alcanza presiones estimadas de hasta 30 t/m² (Ibáñez, 1985), lo que tiene consecuencias directas sobre la estabilidad de los taludes, la línea de costa y las estructuras edificadas en su entorno inmediato, como el propio edificio del Balneario.

En cuanto a la morfología costera próxima al Balneario, destaca una plataforma de playa arenosa con pendiente moderada (2-5%), confinada entre elementos naturales y artificiales que modulan la dinámica litoral. Esta zona de playa ha sido históricamente afectada por procesos de retroceso litoral, exacerbados por la acción de temporales del cuadrante noroeste y por el ascenso del nivel medio del mar, tendencias todas ellas que se proyectan con mayor intensidad bajo escenarios climáticos futuros.

La estabilidad aparente del sistema litoral de La Concha, condicionada por su configuración semicerrada y la protección que brinda la isla de Santa Clara frente al oleaje dominante, no debe ocultar su vulnerabilidad frente a eventos extremos o a la evolución paulatina de forzamientos climáticos, aspectos que serán analizados con mayor detalle en los capítulos posteriores dedicados a la evaluación de impactos esperados.

3.4 Características hidrodinámicas

La hidrodinámica de la bahía de La Concha está gobernada por la interacción de varios forzamientos físicos, entre los que destacan la marea, el oleaje y las corrientes inducidas por el viento. La combinación de estos factores condiciona la circulación interna, la dispersión de masas de agua y la morfodinámica del entorno costero.

- Régimen de mareas. La bahía presenta un régimen de marea semidiurno, caracterizado por dos ciclos diarios de pleamar y bajamar. La amplitud de marea varía en función del ciclo lunar, alcanzando valores promedio de aproximadamente 1,5 m durante mareas muertas y hasta 4 m durante mareas vivas [10]. Este régimen induce oscilaciones significativas del nivel del mar a escala diaria, con efectos evidentes en la línea de costa y en los flujos de agua entrante y saliente.
- Dinámica de corrientes. Las corrientes en el interior de la bahía resultan de la superposición de forzamientos mareales y eólicos. En la capa superficial de la columna de agua (hasta ~10 m), predominan corrientes inducidas por el viento, que responden con rapidez a cambios en la dirección e intensidad de este, alcanzando velocidades comprendidas entre 0,50 y 0,80 $m \cdot s^{-1}$. En estratos más profundos, las corrientes presentan una respuesta más amortiguada al viento y están dominadas por componentes mareales y estacionales, con intensidades del orden de 0,15-0,30 $m \cdot s^{-1}$. En la zona de rompiente y en la playa propiamente dicha, pueden generarse corrientes de retorno asociadas a la rotura del oleaje, especialmente durante condiciones de mar de fondo con incidencia oblicua. No obstante, en el caso específico de la playa de La Concha, la configuración semicerrada de la bahía, la protección natural que ofrece la isla de Santa Clara y la orientación predominante del oleaje reducen significativamente la energía incidente en la zona de rompiente. Como resultado, la generación de corrientes de rotura es poco frecuente y de escasa intensidad, sin constituir un mecanismo dominante en la dinámica hidrodinámica general de la bahía.
- Oleaje. Según el nodo SIMAR 3179032 [2], situado muy próximo a la zona de estudio, la altura significativa media anual es de aproximadamente 1,09 m, con un periodo de pico modal comprendido entre 8 y 12 segundos. Las condiciones de oleaje están dominadas por componentes de mar de fondo provenientes del cuadrante N-NO, con un 55 % del tiempo asociado a alturas superiores a 1,0 m, y valores máximos que pueden superar 5,0 m en situaciones extremas. En las figuras 6 a 8 se presentan diferentes análisis del oleaje medido en este nodo. La isla de Santa Clara actúa como barrera natural atenuando el oleaje incidente, especialmente en condiciones de mar de fondo del noroeste.
- Tiempo de renovación. La tasa de renovación del volumen de agua de la bahía es un parámetro clave en la gestión de la calidad del agua, especialmente en zonas de baño. Estudios recientes estiman un tiempo medio de renovación inferior a siete días bajo condiciones hidrodinámicas típicas, favorecido por el régimen mareal y la dinámica de intercambio con el exterior de la bahía.

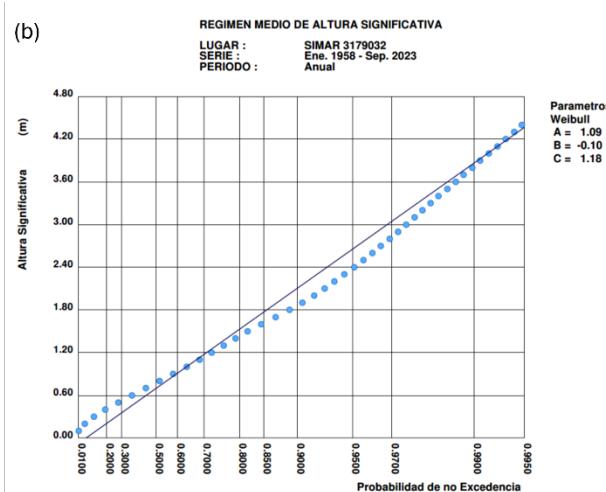
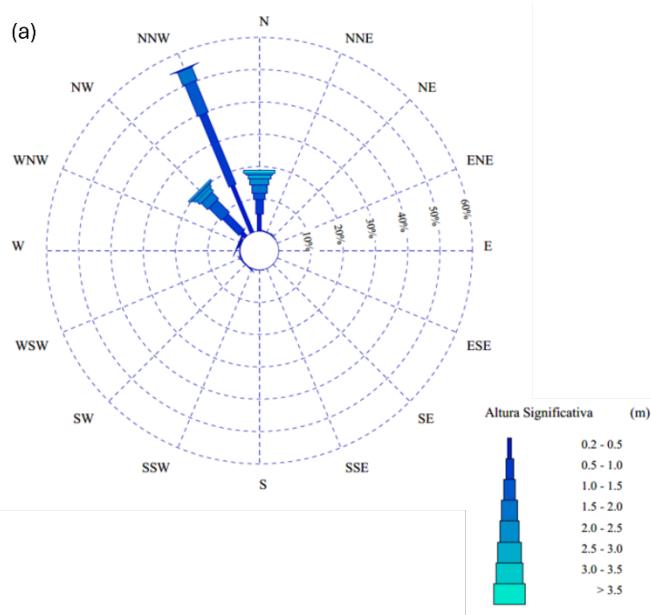


Figura 9. Nodo SIMAR 3179032 para el periodo enero 1958 - septiembre 2023. (a) Rosa anual de oleaje mostrando la distribución de altura significativa (H_s). (b) Régimen medio anual de altura significativa (H_s).

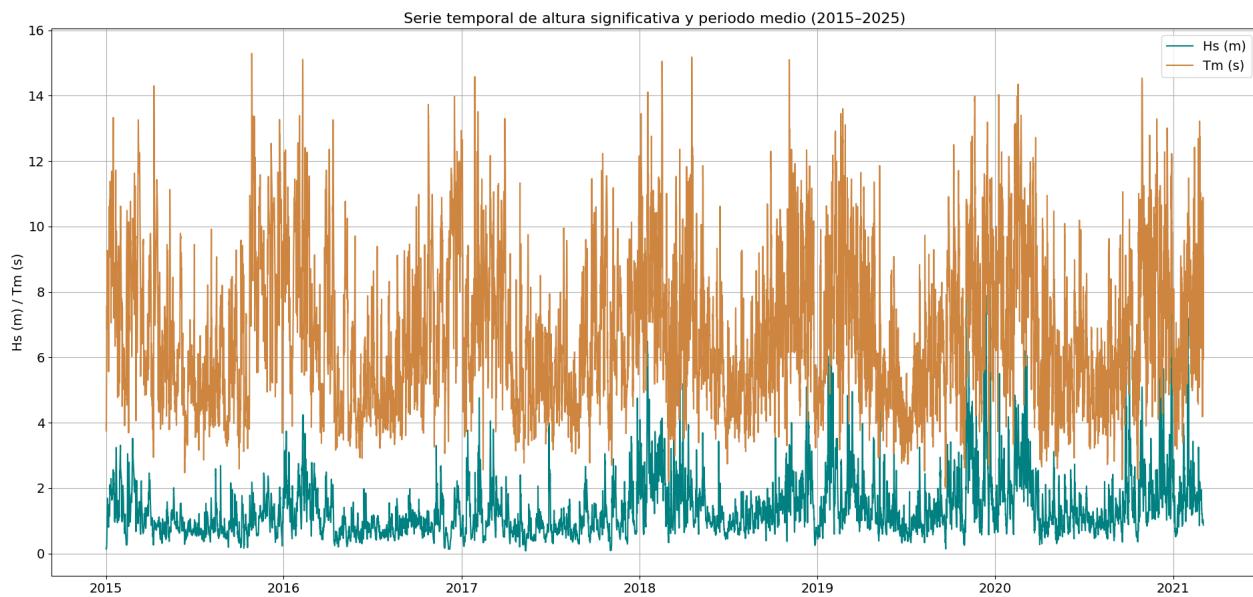
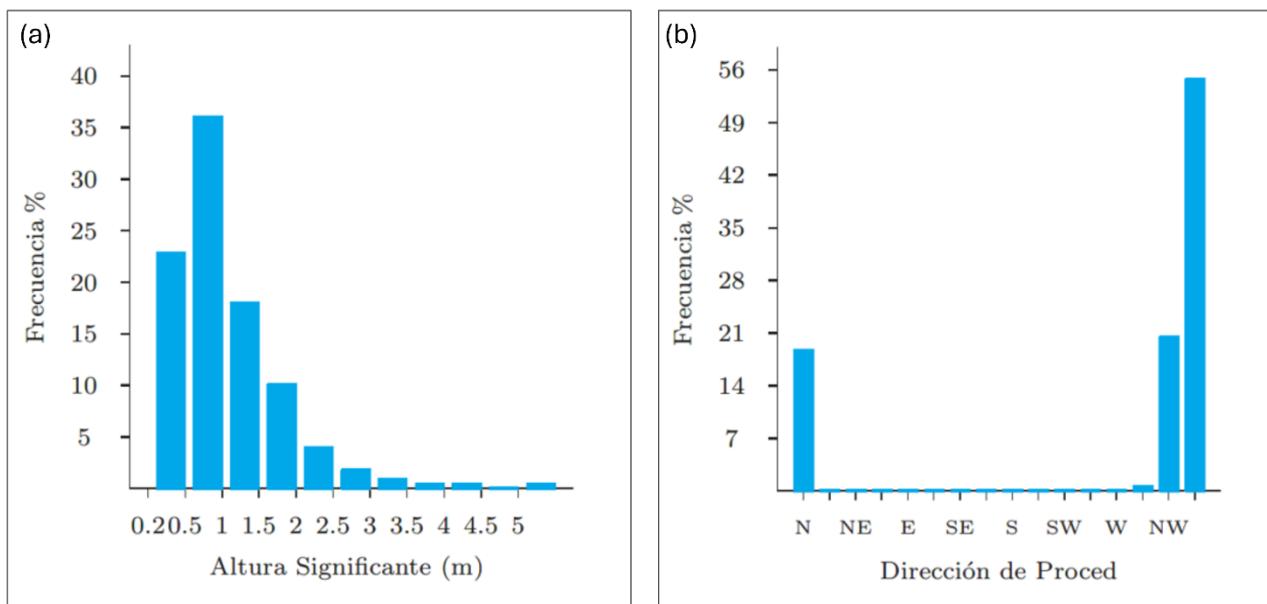


Figura 10. Datos de oleaje del nodo SIMAR 3179032 para el periodo 2015-2025. Serie temporal de altura significativa y periodo medio (T_m).



(c)

| Dirección | Hs (m) | | | | | | | | | | | | Total |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|
| | ≤ 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | > 5.0 | |
| CALMAS | 4.864 | | | | | | | | | | | | 4.864 |
| N 0.0 | | 5.247 | 4.450 | 1.924 | 2.624 | 2.048 | 1.016 | .595 | .371 | .216 | .126 | .156 | 18.773 |
| NNE 22.5 | | .042 | .049 | .003 | - | - | - | - | - | - | - | - | .094 |
| NE 45.0 | | .010 | .005 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | .016 |
| ENE 67.5 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E 90.0 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ESE 112.5 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| SE 135.0 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| SSE 157.5 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| S 180.0 | | .003 | .001 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | .004 |
| SSW 202.5 | | .006 | .004 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | .010 |
| SW 225.0 | | .003 | .015 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | .019 |
| WSW 247.5 | | .004 | .037 | .003 | - | - | - | - | - | - | - | - | .044 |
| W 270.0 | | .002 | .094 | .015 | .003 | - | - | - | - | - | - | - | .113 |
| WNW 292.5 | | .090 | .261 | .253 | .137 | .039 | .014 | .003 | .002 | - | - | - | .800 |
| NW 315.0 | | 1.777 | 7.153 | 5.376 | 2.837 | 1.474 | .778 | .422 | .235 | .125 | .077 | .100 | 20.352 |
| NNW 337.5 | | 15.732 | 23.895 | 10.505 | 4.454 | .214 | .055 | .028 | .013 | .010 | .003 | .002 | 54.911 |
| Total | 4.864 | 22.915 | 35.964 | 18.080 | 10.056 | 3.775 | 1.863 | 1.048 | .620 | .351 | .206 | .259 | 100 % |

Figura 11. Tablas Hs- Dirección anual en el nodo SIMAR 3179032 para el periodo enero 1958 - septiembre 2023. (a) Distribución de altura significante. (b) Distribución de dirección del oleaje. (c) Tabla Altura Significante (Hs) - Dirección de Procedencia en %.

4 ESCENARIOS CLIMÁTICOS Y CONDICIONES DE CONTORNO

4.1 Marco conceptual del IPCC

La evaluación de los impactos del cambio climático sobre la infraestructura del edificio de la Sociedad Balneario de La Concha se enmarca en un análisis prospectivo basado en escenarios climáticos normalizados y aceptados internacionalmente, definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). En el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC, se introducen los llamados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que representan distintas trayectorias de forzamiento radiativo –la alteración del balance energético terrestre medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2)– hacia el año 2100. A diferencia de proyecciones socioeconómicas completas, los RCPs no describen directamente variables como población o PIB, sino que son caminos plausibles de emisiones derivados de distintos supuestos sobre políticas, tecnologías y comportamientos humanos [6].

4.2 Escenarios RCP seleccionados

Para el presente análisis se han seleccionado dos escenarios contrastados del AR5, ampliamente utilizados en evaluaciones de riesgo costero en Europa y en España [11]: RCP 4.5 y RCP 8.5. Ambos permiten representar una gama de posibles condiciones futuras, desde trayectorias con mitigación moderada hasta situaciones de inacción climática.

Los RCP constituyen trayectorias posibles de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) y sus forzamientos radiativos asociados hacia el año 2100, expresados en vatios por metro cuadrado (W/m^2). No se trata de proyecciones socioeconómicas per se, sino de caminos posibles que reflejan políticas, tecnologías y patrones de consumo energético futuros.

- RCP 4.5: Escenario de estabilización intermedia, en el que las emisiones globales de GEI alcanzan su pico alrededor de 2040 y descienden progresivamente. El forzamiento radiativo se estabiliza en torno a $4.5 \text{ W}/\text{m}^2$ hacia 2100, representando un mundo donde se implementan políticas climáticas relevantes, pero no extremas. Este es el escenario considerado como más realista actualmente.
- RCP 8.5: Escenario de altas emisiones, caracterizado por la continuidad de las tendencias actuales sin mitigación significativa. El forzamiento radiativo asciende hasta $8.5 \text{ W}/\text{m}^2$ en 2100, asociado a un sistema energético dominado por combustibles fósiles, alta demanda energética y ausencia de transformaciones tecnológicas disruptivas. Se considera un escenario conservador.

Ambos escenarios han sido ampliamente implementados en modelos climáticos globales y regionales, y sirven de base para estimaciones del aumento del nivel del mar, frecuencia de fenómenos extremos y condiciones de contorno aplicables a infraestructuras costeras como el Balneario de La Perla.

4.3 Aplicación al análisis de riesgo costero

Los escenarios climáticos seleccionados, RCP 4.5 y RCP 8.5, proporcionan un marco cuantitativo fundamental para evaluar la exposición y vulnerabilidad del edificio del Balneario frente a los impactos físicos derivados del cambio climático en la zona costera. Su aplicación es especialmente pertinente en contextos donde la interacción entre el océano y las infraestructuras del litoral es crítica para la seguridad estructural, la funcionalidad operativa y la viabilidad de uso a medio y largo plazo.

Estos escenarios determinan los principales condicionantes físicos que afectan a zonas costeras:

- Elevación del nivel medio del mar, como resultado combinado de la expansión térmica del océano, la fusión de glaciares y capas de hielo, y el incremento del deshielo en Groenlandia y la Antártida. En escenarios como RCP 8.5, el aumento medio puede superar los 0,84 metros hacia el año 2100, con implicaciones directas sobre la inundabilidad de zonas litorales bajas y estructuras costeras históricas como la Sociedad Balneario.

- Incremento de la frecuencia de eventos extremos relacionados con el nivel del mar, como temporales, marejadas ciclónicas, sobreelevaciones meteorológicas (*storm surges*) e inundaciones por oleaje. Se proyecta que fenómenos que históricamente se producían una vez cada 100 años — los llamados “fenómenos centenarios” — se conviertan en eventos anuales o incluso más frecuentes en numerosos puntos del litoral global antes de 2100, especialmente bajo el escenario RCP 8.5. Esto eleva significativamente el riesgo de exposición de activos litorales históricos, como el edificio objeto del presente estudio.
- Modificaciones en los patrones de oleaje y corrientes costeras, que alteran el régimen energético incidente sobre la costa, afectando a la dinámica sedimentaria, la erosión de playas, la estabilidad de la cimentación y los riesgos por socavación en estructuras costeras. Estas alteraciones dependen de la interacción entre los cambios en los vientos dominantes y las trayectorias de tormentas.

El escenario de cambio climático influye directamente en la magnitud y frecuencia de los impactos físicos costeros. Los escenarios de emisiones como el RCP 4.5 (estabilización intermedia) y el RCP 8.5 (altas emisiones sin mitigación) determinan el grado de aumento del nivel del mar, el cual, a su vez, amplifica la recurrencia de fenómenos extremos como temporales, mareas de tormenta o inundaciones por subida del mar.

Según el informe del IPCC SROCC [12], como resultado del aumento del nivel medio del mar, muchos lugares donde fenómenos extremos ocurrían históricamente una vez por siglo podrían experimentar esos mismos niveles de agua cada año antes de 2100, especialmente bajo el escenario RCP 8.5. Esto implica un aumento muy significativo del riesgo en zonas costeras incluso sin cambios en la intensidad de las tormentas. Los mapas que se muestran en la figura siguiente, muestran que esta “transición” de fenómenos centenarios a eventos anuales afectará a la mayoría de las regiones costeras en todo el mundo, incluyendo muchas de las evaluadas con suficiente calidad de datos observacionales. Este fenómeno tiene implicaciones críticas para la planificación de infraestructuras en el litoral, como es el caso del edificio balneario objeto de este informe.

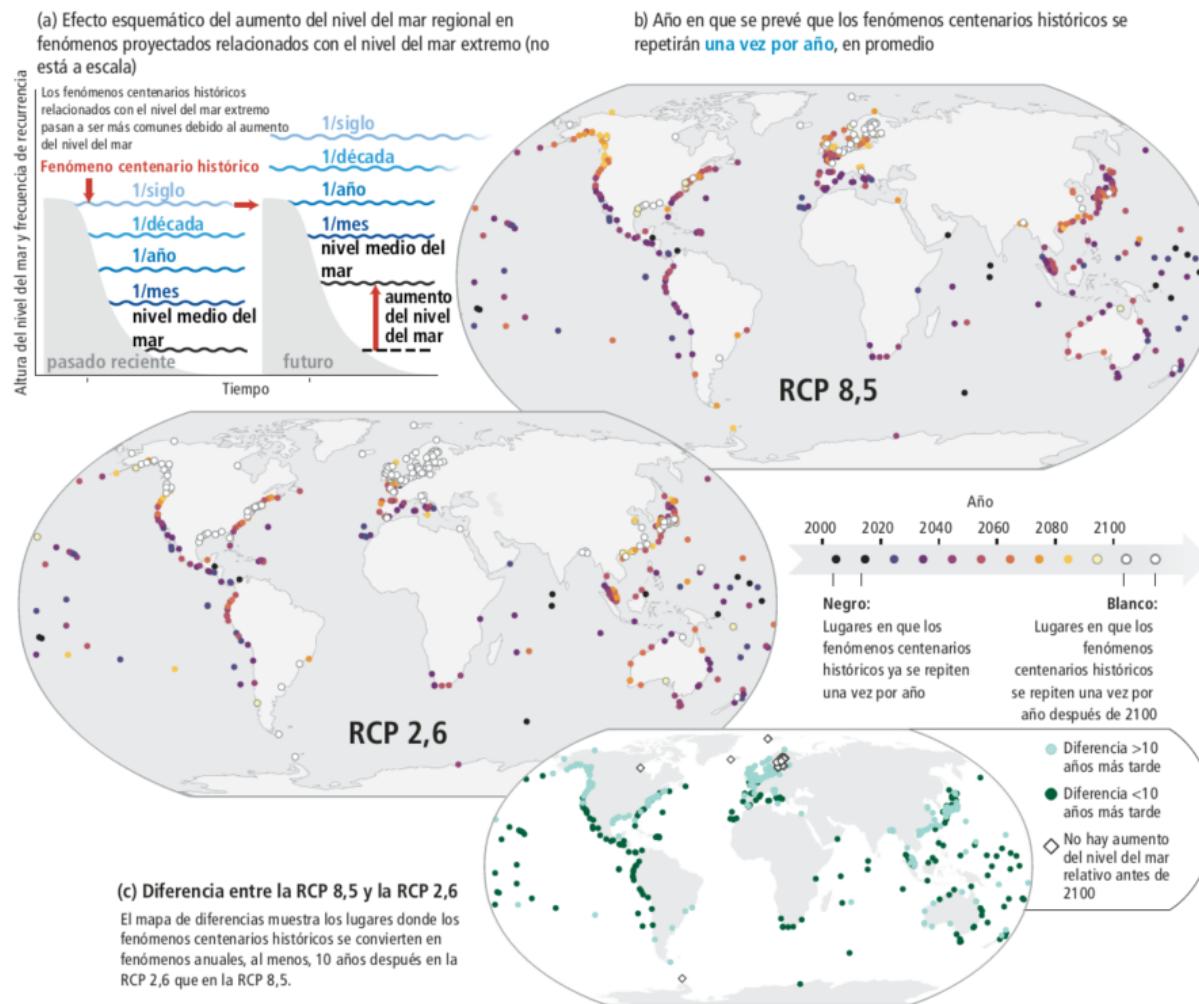


Figura 12. Proyecciones del aumento del nivel medio del mar global bajo diferentes RCP [12]. a) Esquema del aumento en la frecuencia de fenómenos extremos del nivel del mar, que pasarán de ser centenarios a recurrentes por el ascenso del nivel medio del mar. (b) Año en que se prevé que esos eventos ocurrían anualmente, según RCP 2.6 y 8.5, en 439 ubicaciones costeras. Círculos más oscuros indican una transición más temprana; blancos, que no ocurrirán antes de 2100. (c) Diferencias entre escenarios: ubicaciones donde la transición se retrasa más de 10 años bajo RCP 2.6 frente a RCP 8.5, mostrando el efecto de la mitigación

Según el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), las proyecciones del aumento del nivel medio global del mar para el período 2081-2100, en relación con el período de referencia 1995-2014, varían en función de los diferentes escenarios de Vías Socioeconómicas Compartidas (SSP). Estos escenarios integran trayectorias de emisiones, cambios de uso del suelo, desarrollo económico y políticas climáticas, permitiendo estimaciones más coherentes y actualizadas respecto a los anteriores RCP. Las cifras que se muestran en la Tabla 1 reflejan los incrementos medios y los rangos probables de subida del nivel del mar asociados a cada SSP [13].

Tabla 1. Proyecciones del aumento del nivel medio global del mar para 2081-2100 (respecto a 1995-2014)[13]

| <i>Escenario SSP</i> | <i>Aumento medio (m)</i> | <i>Rango probable (m)</i> |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| SSP1-1.9 | 0,29 | 0,21 - 0,38 |
| SSP1-2.6 | 0,32 | 0,23 - 0,41 |
| SSP2-4.5 | 0,44 | 0,32 - 0,56 |
| SSP3-7.0 | 0,55 | 0,41 - 0,69 |
| SSP5-8.5 | 0,77 | 0,59 - 0,96 |

Estos valores son fundamentales para evaluar los riesgos asociados al aumento del nivel del mar en zonas costeras. En el caso del Balneario, su análisis resulta especialmente relevante en situaciones de marea astronómica alta coincidente con temporales, donde pequeñas variaciones en el nivel medio pueden amplificar sustancialmente el riesgo físico y funcional del edificio.

5 EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTOS ESPERADOS

El presente capítulo sintetiza los resultados de la evaluación de riesgos derivados del cambio climático sobre el edificio de la Sociedad Balneario de La Concha, considerando los horizontes temporales 2050 y 2100 y empleando proyecciones climáticas de alta resolución desarrolladas para la Comunidad Autónoma del País Vasco bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Se analizan específicamente los riesgos de inundación costera, erosión de playa, oleaje extremo y vulnerabilidad socioeconómica, considerando como fuente principal el estudio KOSTAEGOKI Fase I [7] y los datos del visor GeoEuskadi [8], así como el visor del proyecto C3E [14].

5.1 Inundabilidad

5.1.1 Inundabilidad Costera

El análisis de la inundabilidad costera en el entorno del edificio de la Sociedad Balneario se ha basado en una modelización física de alta resolución que integra la acción combinada del nivel medio del mar, la marea meteorológica, la marea astronómica y el oleaje extremo [7]. En zonas singulares como la bahía de La Concha, se ha empleado el modelo SWAN (Simulating WAves Nearshore), propagando las condiciones de contorno marinas a una resolución espacial de 1 metro a partir de una batimetría actualizada (LIDAR 2016 del Gobierno Vasco).

Las cotas de inundación se han calculado mediante análisis estadístico de valores extremos, utilizando la distribución de valores extremos generalizados (GEV) sobre series de máximos anuales. Se han considerado períodos de retorno de 100 y 500 años, en combinación con escenarios de ascenso del nivel del mar basados en las trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero del IPCC (RCP 4.5 y RCP 8.5) [15].

Los escenarios evaluados son:

- Escenario actual (Tr=100 y 500 años)
- Escenario 2050 (+26 cm NMM, Tr=100 y 500 años)
- Escenarios 2100:
 - +51 cm NMM (RCP4.5)
 - +70 cm NMM (RCP8.5)
 - +100 cm NMM (escenario pesimista), cada uno con Tr=100 y 500 años.

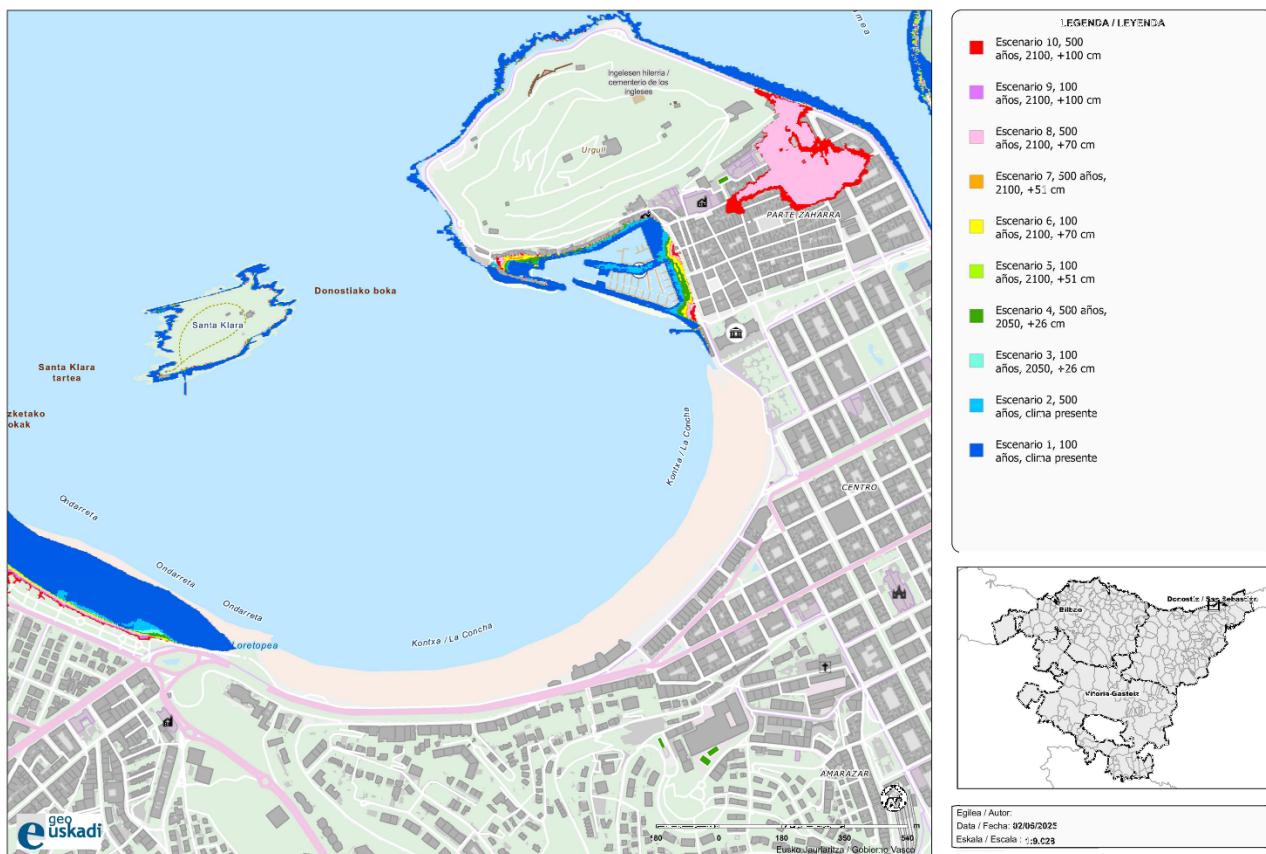


Figura 13. Mapa de zonas inundables bajo distintos escenarios en la playa de La Concha [8]

En cuanto a la afectación directa sobre la playa de La Concha, los resultados obtenidos indican las siguientes superficies inundables (estimadas en m²) en los diferentes horizontes:

| Escenario | Superficie Playa Afectada (m ²) |
|----------------------------|---|
| 2050 (RCP 4.5/8.5, +26 cm) | 4.445 m ² |
| 2100 (RCP 4.5, +51 cm) | 10.944 m ² |
| 2100 (RCP 8.5, +70 cm) | 15.687 m ² |
| 2100 (RCP máx., +100 cm) | 20.896 m ² |

Estos datos muestran un incremento acumulado de la superficie expuesta de hasta casi cinco veces respecto al valor de referencia actual en el escenario más severo (RCP 8.5, +100 cm). Aunque el edificio del balneario se ubica fuera del área directamente afectada por la lámina de agua en condiciones medias, los márgenes costeros adyacentes podrían verse comprometidos en eventos extremos, especialmente en combinación con oleaje y marea viva, bajo los escenarios de 2100 y Tr = 500 años. La existencia de accesos técnicos en la planta baja, con conexión directa a la playa, constituye un punto vulnerable que podría facilitar la intrusión puntual de agua durante estos eventos.

No se prevé una afectación estructural directa al edificio del Balneario en el medio plazo (2050). Sin embargo, hacia finales de siglo, la repetición de episodios extremos de sobrepasso y la progresiva reducción del margen de seguridad litoral podrían exigir actuaciones preventivas como sistemas de drenaje reforzado, barreras perimetrales o elevación puntual de accesos y explanadas para garantizar la funcionalidad del edificio frente a eventos infrecuentes, pero potencialmente disruptivos.

5.1.2 Inundabilidad Pluvial

La evaluación de la inundabilidad pluvial se ha desarrollado dentro del marco del proyecto INPLU-ES [16], mediante modelización hidrológica e hidráulica basada en simulaciones de eventos extremos de lluvia bajo condiciones actuales y proyectadas (RCP 8.5, horizonte 2041-2070). Se analizaron las áreas susceptibles de acumulación de escorrentía superficial en función de la pendiente, permeabilidad del suelo y características urbanas.

Resultados para la playa de La Concha:

- Escenario de precipitación extrema con $T_r = 25$ años (2041-2070, RCP 8.5): La zona de playa aparece como susceptible de inundación superficial laminar, identificándose en los mapas de riesgo como área de acumulación temporal de agua, especialmente en episodios de precipitación intensa de corta duración.
- Tendencia proyectada a la inundabilidad pluvial (2041-2070, RCP 8.5): Se estima un incremento de entre el 10 % y el 20 % en la probabilidad de inundación pluvial en la zona de la playa, en comparación con el clima de referencia. Esta tendencia es especialmente relevante en superficies llanas como los arenales, donde el drenaje natural es limitado.

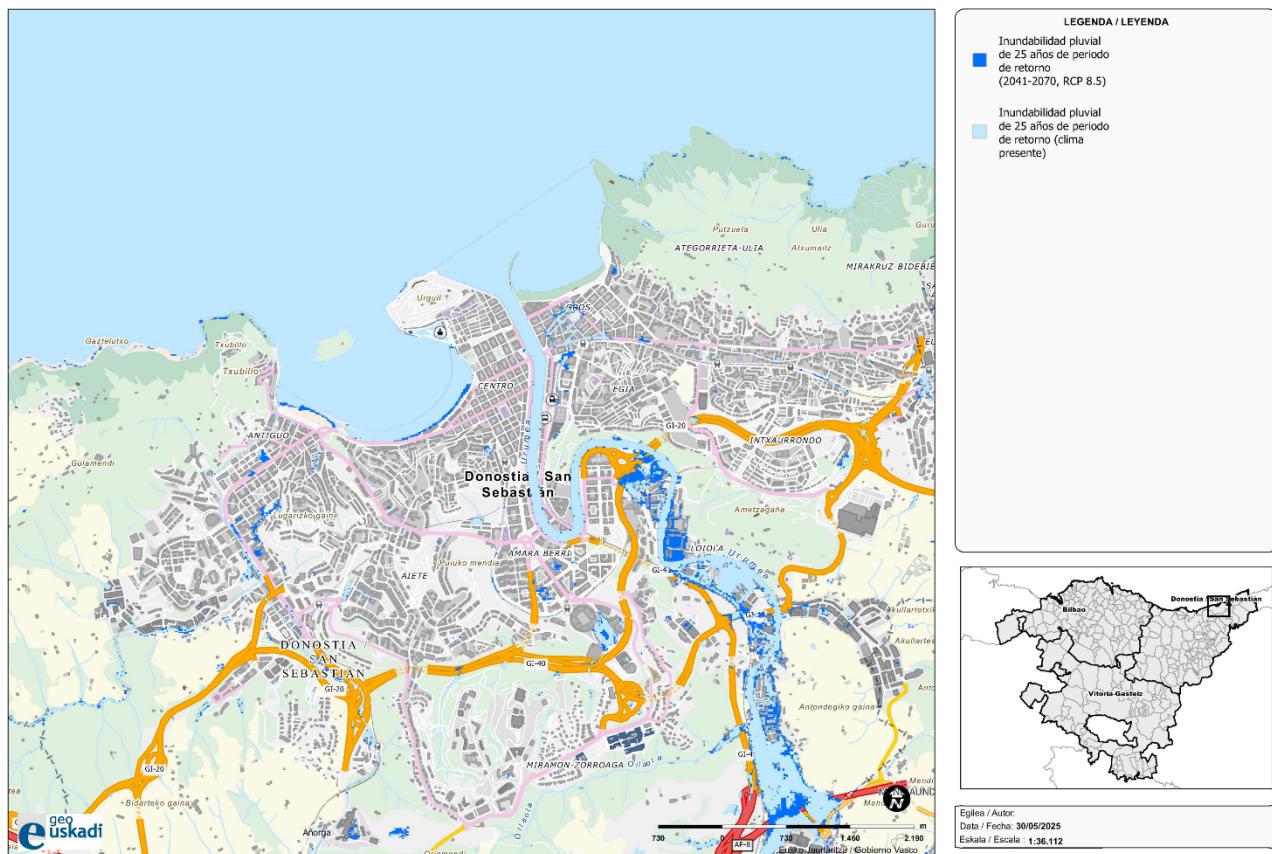


Figura 14. Superficie inundable pluvial. Inundabilidad pluvial con $T_r = 25$ años (2041-2070, RCP 8.5)[8]

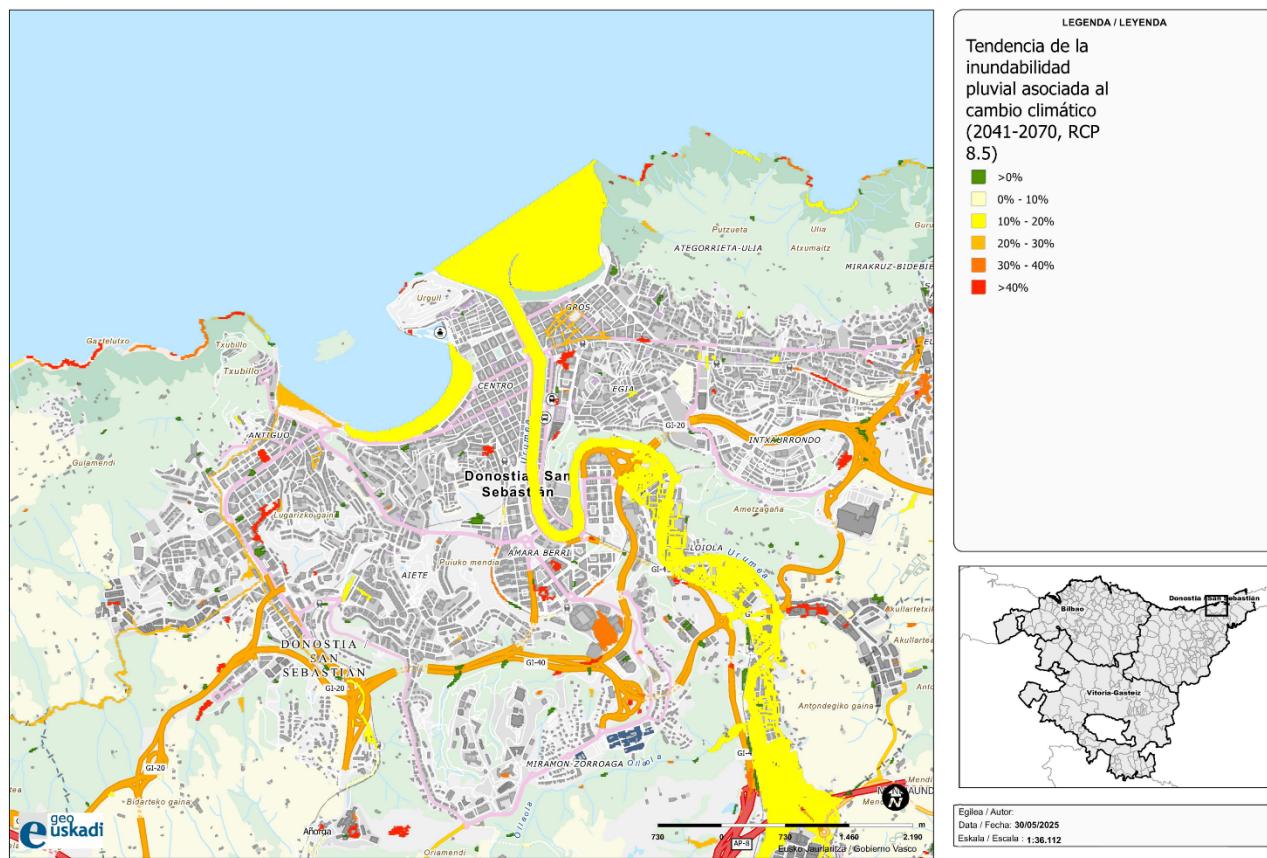


Figura 15. Tendencia de la inundabilidad pluvial asociada al cambio climático (2041-2070, RCP 8.5) [8]

Aunque el edificio del Balneario se encuentra en una posición elevada y sobre una estructura robusta, su entorno inmediato podría verse afectado por acumulaciones temporales de agua durante eventos de lluvia intensa. La configuración constructiva del edificio, con una base asentada sobre terreno de relleno litoral y sin sistemas de drenaje pluvial específicos en su entorno más próximo, podría favorecer la acumulación de escorrentía en los puntos de acceso, comprometiendo la operatividad de las instalaciones situadas en planta baja. Además, la ausencia de infraestructuras específicas de evacuación en el arenal podría agravar los problemas de accesibilidad y provocar el deterioro de elementos ligeros (pasarelas, mobiliario urbano), así como limitar temporalmente el uso recreativo de la playa. A futuro, la mayor frecuencia esperada de estos fenómenos justifica la consideración de medidas de drenaje sostenible y control de escorrentías en el ámbito inmediato del Balneario.

5.2 Erosión y dinámica sedimentaria litoral

La evaluación de la erosión en playas se ha desarrollado aplicando un modelo de evolución de línea de costa que considera tanto procesos de corto plazo (variabilidad estacional y eventos extremos) como de largo plazo (ascenso progresivo del nivel medio del mar) [7]. Este modelo integra la acción del oleaje, las mareas astronómica y meteorológica y la subida del nivel del mar, y ha sido calibrado con datos específicos de playas del litoral vasco, incluidas Ondarreta y La Concha.

El modelo emplea información de oleaje derivada de la base de datos DOW [17], propagada localmente con el modelo SWAN, y utiliza batimetría de alta resolución. El retroceso de línea de costa se ha estimado para períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años mediante el ajuste de una función de valores extremos generalizados, a partir de mínimos anuales de playa seca. Además, se ha calculado un indicador de erosión, definido como el cociente entre el retroceso de playa y su ancho medio. Este indicador varía entre 0 (sin pérdida) y 1 (pérdida total) [7].

Se han considerado cuatro escenarios de ascenso del nivel medio del mar, de acuerdo con los escenarios climáticos del IPCC:

- 2050: +0,26 m (RCP 8.5 medio).
- 2100: +0,51 m (RCP 4.5 medio), +0,70 m (RCP 8.5 medio) y +1,00 m (RCP 8.5 extremo).

Para cada escenario se ha calculado el retroceso esperado de la playa en metros y el indicador asociado para cada horizonte temporal.

Tabla 2. Valores estimados de retroceso de línea de costa y su correspondiente indicador de erosión para la playa de La Concha, bajo distintos escenarios de ascenso del NMM.

| Escenarios de aumento NMM | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|--|
| Periodo de retorno | 5 años | | 10 años | | 25 años | | 50 años | | |
| Aumento del NMM | Retroceso (m) | Indicador erosión | |
| 0,26 m | 31,80 | 0,70 | 35,90 | 0,80 | 40,90 | 0,90 | 44,60 | 1,00 | |
| 0,51 m | 38,20 | 0,80 | 42,20 | 0,90 | 45,00 | 1,00 | 45,00 | 1,00 | |
| 0,70 m | 32,50 | 0,70 | 36,50 | 0,80 | 41,60 | 0,90 | 45,00 | 1,00 | |
| 1 m | 42,80 | 1,00 | 45,00 | 1,00 | 45,00 | 1,00 | 45,00 | 1,00 | |

La playa de La Concha presentaría un retroceso significativo de hasta 45 m en los escenarios de mayor severidad. No obstante, la infraestructura del Balneario, ubicada sobre un zócalo elevado respecto a la cota de playa, no estaría directamente expuesta a pérdida física por erosión. Sin embargo, dicho retroceso podría comprometer la estabilidad de elementos funcionales como plataformas de acceso y escalinatas, además de reducir el colchón natural de arena que actualmente actúa como barrera de amortiguación frente al oleaje. Asimismo, la estructura mixta del edificio, compuesta por hormigón armado y elementos metálicos, podría ser susceptible a procesos de corrosión acelerada debido al aumento de la salinidad ambiental y la humedad persistente, especialmente en caso de incremento en la frecuencia de contacto con agua marina durante episodios extremos. La evolución prevista refuerza la necesidad de estrategias de mantenimiento y realimentación de playa como medidas de adaptación, sin que se vislumbre a medio plazo una amenaza estructural directa al edificio.

5.3 Cambios en la dinámica marina

El análisis de los cambios en la dinámica marina asociados al cambio climático se ha abordado mediante la iniciativa C3E (Cambio Climático en la Costa Española), desarrollada por el IH Cantabria [14]. Este proyecto proporciona proyecciones detalladas de variables oceanográficas clave, como el NMM, la altura significativa del oleaje, el periodo de pico y la dirección del oleaje, bajo diferentes escenarios de concentración representativa de gases de efecto invernadero (RCP 4.5 y RCP 8.5) para los períodos 2026-2045 y 2081-2100. La metodología empleada se basa en modelos numéricos de propagación y transformación del oleaje, calibrados y validados con datos históricos, y adaptados a las condiciones específicas de la costa española.

Para el presente estudio, se ha seleccionado el nodo más próximo a la Bahía de La Concha (Latitud: 43,4000°N; Longitud: -2,0000°E) del visor C3E [18]. Los resultados para este nodo, y para el Cantábrico en general, indican una tendencia general a la disminución de la altura significativa media del oleaje (ΔHs_m), con reducciones de hasta 0,0841 m en el escenario RCP 8.5 para el periodo 2081-2100. Sin embargo, los valores extremos (percentil 99.9%) muestran una disminución más pronunciada, alcanzando reducciones de hasta 0,3412 m en el mismo escenario y periodo. El periodo de pico medio (ΔTp_m) también presenta una disminución de hasta 0,25 s, mientras que la dirección del oleaje (ΔDir) muestra cambios menores, inferiores a 0,25°.

En la siguiente tabla se presentan las variaciones proyectadas en variables hidrodinámicas clave, bajo distintos escenarios climáticos, dónde:

- ΔHs_m (m): Cambio en la altura significativa media del oleaje.
- $\Delta Hs_{99.9\%}$ (m): Cambio en la altura significativa del oleaje en el percentil 99,9% (eventos extremos).
- ΔDir (°): Cambio en la dirección media del oleaje.
- ΔTp_m (s): Cambio en el periodo de pico medio del oleaje.
- $\Delta Tp_{99.9\%}$ (s): Cambio en el periodo de pico del oleaje en el percentil 99,9%.
- ΔMSL (m): Cambio en el nivel medio del mar (Mean Sea Level).
- ΔNMC_m (m): Cambio en la cota media de nivel del mar corregida (nivel medio combinado).
- $\Delta MM_{99.9\%}$ (m): Cambio en la marea meteorológica en el percentil 99,9%.
- $\Delta NMC_{99.9\%}$ (m): Cambio en la cota de nivel del mar corregida en el percentil 99,9%.

Tabla 3. Variaciones proyectadas en variables hidrodinámicas en el nodo Latitud: 43.4000°N; Longitud: -2.0000°E, bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

| Variable | 2026-2045 RCP 4.5 | 2026-2045 RCP 8.5 | 2081-2100 RCP 4.5 | 2081-2100 RCP 8.5 |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ΔHs_m (m) | -0.0263 | -0.0215 | -0.0612 | -0.0841 |
| $\Delta Hs_{99.9\%}$ (m) | -0.0082 | -0.0264 | -0.1232 | -0.3412 |
| ΔDir (°) | 0.1816 | 0.2232 | 0.1757 | 0.1232 |
| ΔTp_m (s) | -0.0752 | -0.1049 | -0.1763 | -0.2536 |
| $\Delta Tp_{99.9\%}$ (s) | 0.0012 | -0.2134 | -0.2829 | -0.3697 |
| ΔMSL (m) | 0.1313 | 0.1347 | 0.3777 | 0.5244 |
| ΔNMC_m (m) | 0.1199 | 0.1234 | 0.3658 | 0.5125 |
| $\Delta MM_{99.9\%}$ (m) | -0.0041 | -0.0042 | -0.0028 | -0.0211 |
| $\Delta NMC_{99.9\%}$ (m) | 0.1176 | 0.1247 | 0.3669 | 0.5089 |

Estas proyecciones sugieren que, aunque la energía media del oleaje podría disminuir ligeramente, los eventos extremos podrían experimentar cambios más significativos en su intensidad y frecuencia. Este aspecto es crucial al considerar las presiones hidrodinámicas sobre infraestructuras costeras, como el Balneario. Aunque el edificio se encuentra sobre un zócalo elevado, los cambios proyectados podrían afectar las condiciones de operatividad y accesibilidad, especialmente durante eventos extremos combinados con mareas vivas y ascensos del nivel del mar.

Cabe indicar que las proyecciones el modelo C3E para el Cantábrico muestra valores de incremento de nivel del mar menos conservadoras que las aplicadas para los mismos escenarios en el trabajo de KOSTAEGOKI Fase I para la Costa Vasca [7].

5.4 Presiones hidrodinámicas

Durante los temporales, la fachada marítima del Balneario de La Perla se ve sometida a presiones significativas derivadas del impacto del oleaje, especialmente en condiciones de pleamar. Para estimar estas solicitudes, se puede tomar como referencia el informe técnico elaborado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria [4] propone una aproximación conservadora basada en el régimen extremal de cota de inundación y la diferencia de nivel entre la lámina de agua y la solera de la planta baja.

La cota de inundación de cálculo adoptada es de +9,60 m CPB, valor obtenido a partir del análisis de los temporales más energéticos registrados por la boya de Bilbao-Vizcaya, incluyendo el evento de marzo de 2008. Dado que la solera de la planta baja se encuentra a +7,18 m CPB, la diferencia de nivel es de 2,42 m.

Bajo estas condiciones, se considera una ley triangular de presiones hidrostáticas actuando sobre los cerramientos de la planta baja. La presión máxima en la base del cerramiento se calcula mediante la expresión:

$$P = \rho gh = 1025 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 2,42 = 24.338 Pa$$

La fuerza horizontal total por metro lineal de fachada es:

$$F = 0,5 * P * h = 0,5 * 24.338 Pa * 2,42 m = 29.449 N/m$$

Esto equivale a una carga de diseño de aproximadamente 3 toneladas por metro lineal, valor muy superior al que soportan los cerramientos convencionales de fachada. Estas presiones ponen de manifiesto la necesidad de medidas de protección específicas para los cerramientos acristalados del edificio, especialmente en las zonas más expuestas. En este sentido, resulta especialmente relevante considerar que, en un contexto de progresivo aumento del nivel del mar y mayor frecuencia de temporales extremos, las condiciones de solicitud podrían intensificarse en el futuro, incrementando la exposición de la infraestructura a eventos de carácter severo.

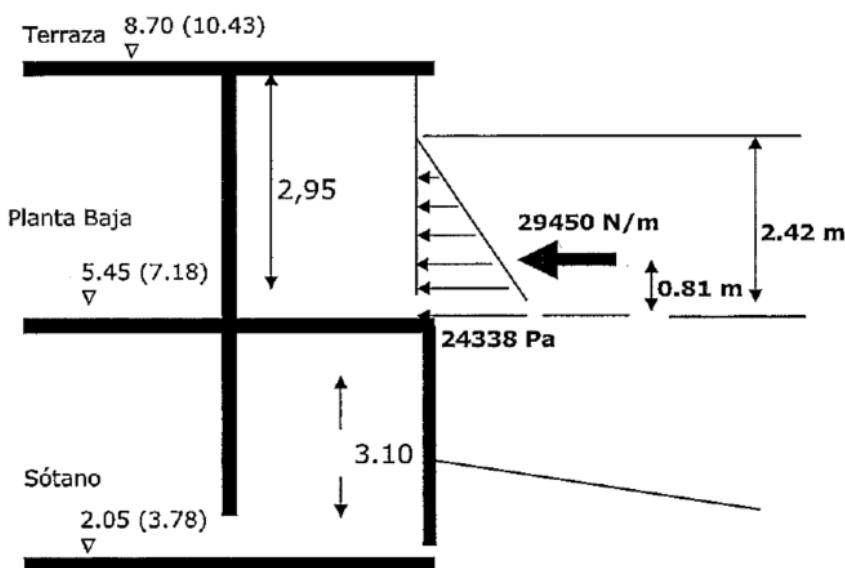


Figura 16. Cargas de cálculo sobre los cerramientos de la fachada de la planta baja del Balneario [4]

5.5 Análisis socioeconómico

El análisis del riesgo socioeconómico asociado a la inundación costera se ha llevado a cabo siguiendo una metodología basada en la evaluación del impacto potencial sobre elementos expuestos, conforme a los componentes del riesgo definidos por el IPCC: peligro, exposición y vulnerabilidad [7].

Para ello, se ha implementado un sistema de análisis espacial mediante unidades de malla de 50 m x 50 m, en el que se integran datos de:

- Población residente por celda (Instituto Vasco de Estadística, Eustat).
- Clasificación y superficie del suelo residencial e industrial (Inventario de usos del suelo).
- Actividades económicas y empleo por sector (VAB sectorial).

El escenario de exposición demográfica se ha mantenido constante en los horizontes temporales 2050 y 2100, sin aplicar proyecciones demográficas. La información espacial se ha cruzado con los mapas de extensión de inundación costera generados para diferentes combinaciones de escenarios climáticos y períodos de retorno (100 y 500 años), con niveles de ascenso del nivel medio del mar de +0,26 m, +0,51 m, +0,70 m y +1,00 m, en línea con las trayectorias RCP 4.5 y RCP 8.5 del IPCC.

Del análisis espacial de las capas socioeconómicas superpuestas con las zonas de inundabilidad proyectadas, se concluye que no se identifica afección sobre suelo residencial ni población residente en el entorno inmediato de la playa de La Concha, incluyendo la plataforma edificada sobre la que se asienta el Balneario.

En particular:

- Las celdas geoespaciales que comprenden el área del Balneario y la franja del paseo marítimo no presentan presencia de suelo residencial afectado por inundación costera bajo ninguno de los escenarios analizados (2050 y 2100).
- Del mismo modo, los mapas de población potencialmente afectada muestran valores nulos en el entorno del Balneario, lo que confirma la inexistencia de riesgo socioeconómico directo en términos de afección a residentes.

Estos resultados reflejan una baja exposición socioeconómica al riesgo de inundación costera en la zona objeto de estudio, lo que, combinado con la baja vulnerabilidad estructural, refuerza la viabilidad de la continuidad funcional y concesional del uso del Balneario.

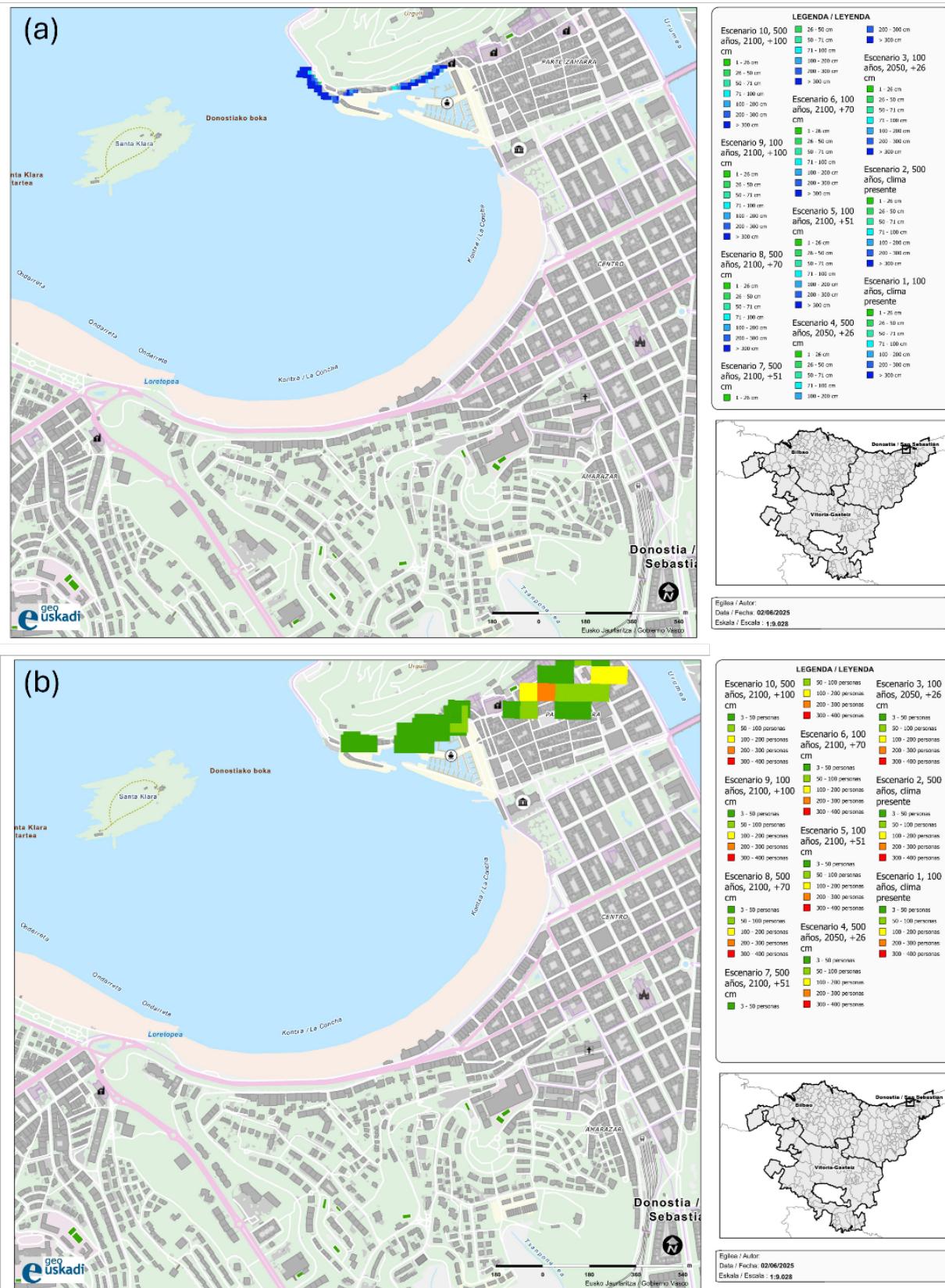


Figura 17. Análisis socioeconómico bajo escenarios de ascenso del nivel medio del mar en la playa de La Concha: (a) afectación a suelo residencial; (b) población potencialmente afectada por inundación costera (unidad espacial: celda de 50 m).

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Riesgos Identificados

El análisis técnico realizado ha permitido identificar los principales riesgos asociados al cambio climático que podrían afectar al edificio de la Sociedad Balneario de La Concha en los horizontes temporales 2050 y 2100. Estos riesgos se concentran en tres ámbitos:

- Inundabilidad costera y pluvial, especialmente en escenarios extremos de ascenso del nivel medio del mar (hasta +1,00 m en RCP 8.5) y eventos de lluvia intensa.
- Erosión y retroceso de la línea de costa, con pérdidas proyectadas de hasta 45 m de playa seca en los escenarios más severos.
- Exposición estructural indirecta, derivada de la reducción del colchón arenoso y la posible afectación de accesos y elementos anexos.

El edificio presenta una posición elevada (+5,40 m NMMA) y una estructura mixta de hormigón armado y elementos metálicos, lo que le confiere una alta resistencia estructural y una baja vulnerabilidad directa frente a estos fenómenos. Además, los análisis de presiones hidrodinámicas realizados indican que, si bien los cerramientos acristalados pueden estar sometidos a cargas significativas en condiciones extremas, estas pueden ser gestionadas mediante soluciones técnicas específicas.

En este sentido, cabe destacar que ya se han ejecutado obras de refuerzo en los cerramientos de la planta baja del edificio, consistentes en la instalación de carpinterías metálicas de alta resistencia y barandillas de vidrio laminado templado. Estas actuaciones han contribuido a reducir significativamente la vulnerabilidad estructural frente a eventos extremos de oleaje y sobrepresión.

A partir de estos resultados, se ha elaborado una matriz de riesgos climáticos que sintetiza de forma estructurada los principales peligros identificados, su probabilidad de ocurrencia, el impacto potencial sobre la infraestructura, el nivel de riesgo resultante y las medidas de mitigación recomendadas. En esta matriz la probabilidad se categoriza en Improbable, Posible, Ocasional, Probable y Frecuente, y el Impacto en Insignificante, Menor, Significativo, Mayor y Severo.

| | | Impacto | | | | |
|--------------|------------|----------------|-------|---------------|-------|--------|
| | | Insignificante | Menor | Significativo | Mayor | Severo |
| Probabilidad | Frecuente | | | | | |
| | Probable | | | | | |
| | Ocasional | | | | | |
| | Posible | | | | | |
| | Improbable | | | | | |

Esta herramienta permite priorizar actuaciones de adaptación en función de su criticidad y horizonte temporal, facilitando la toma de decisiones técnicas y administrativas en el marco de la gestión del dominio público marítimo-terrestre. La matriz se basa en criterios de evaluación cualitativa respaldados por estudios sectoriales (KOSTAEGOKI, C3E, PNACC) y se alinea con las directrices del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en materia de adaptación al cambio climático en zonas costeras.

Tabla 4. Matriz de riesgos climáticos para el edificio de la Sociedad Balneario de La Concha.

| Tipo de Riesgo | Descripción Técnica | Probabilidad | Impacto | Nivel de Riesgo | Horizonte Temporal | Medidas de Mitigación |
|----------------------------------|--|--------------|---------------|-----------------|--------------------|---|
| Inundación Costera | Inundaciones derivadas del ascenso del nivel medio del mar, oleaje extremo y sobrepuerto en mareas vivas, con riesgo potencial para los accesos y la planta baja del edificio. | Probable | Significativo | Alto | 2050 y 2100 | <ul style="list-style-type: none"> - Instalación de barreras móviles o fijas en accesos vulnerables - Reforzamiento de cerramientos acristalados - Drenaje pluvial con válvulas antirretorno - Plan de emergencia ante temporales |
| Inundación Pluvial | Acumulación de escorrentía superficial por precipitaciones intensas, agravada por la urbanización del entorno y la baja capacidad de infiltración del suelo arenoso. | Ocasional | Menor | Medio | 2050 y 2100 | <ul style="list-style-type: none"> - Implementación de sistemas de drenaje sostenible - Uso de pavimentos permeables en accesos - Instalación de zanjas de infiltración y alcances drenantes - Mantenimiento preventivo de sumideros y rejillas |
| Erosión Costera | Retroceso de la línea de costa debido a la pérdida de sedimentos y al ascenso del nivel del mar, reduciendo la protección natural frente al oleaje. | Probable | Menor | Medio | 2050 y 2100 | <ul style="list-style-type: none"> - Programas de realimentación artificial de playas - Monitorización batimétrica periódica - Coordinación con el Plan de Gestión de la Zona Costera |
| Exposición Estructural Indirecta | Degradación de elementos funcionales (escaleras, pasarelas, accesos) y aumento de corrosión en estructuras metálicas por salinidad y humedad persistente. | Ocasional | Menor | Medio | 2050 y 2100 | <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de tratamientos anticorrosivos - Inspección estructural anual - Refuerzo de anclajes y cimentaciones superficiales - Plan de mantenimiento adaptativo |

La matriz de riesgos presentada permite visualizar de forma clara y estructurada los principales factores de amenaza climática que podrían afectar al edificio del Balneario, así como las medidas técnicas disponibles para su gestión, algunas de las cuales, como el refuerzo de cerramientos, ya han sido ejecutadas.

Si bien algunos riesgos presentan una probabilidad o impacto significativo en escenarios futuros, el análisis demuestra que, mediante la aplicación efectiva de las medidas de adaptación propuestas, dichos riesgos pueden mantenerse dentro de niveles aceptables. En este sentido, se concluye que la exposición del edificio al cambio climático es gestionable, y que la continuidad del uso concesional resulta técnicamente viable y ambientalmente compatible, siempre que se mantenga un compromiso activo con la implementación progresiva de las actuaciones recomendadas.

6.2 Medidas de Protección y Adaptación

Con base en la evaluación de riesgos climáticos realizada, se propone un conjunto de medidas de adaptación orientadas a reducir la exposición y vulnerabilidad del edificio del Balneario frente a los principales impactos identificados. Estas medidas han sido seleccionadas por su viabilidad técnica, su compatibilidad con la normativa vigente y su capacidad para mantener la funcionalidad y seguridad del edificio en el medio y largo plazo.

El enfoque adoptado prioriza soluciones de bajo impacto, reversibles y escalables, que permiten una implementación progresiva en función de la evolución del riesgo y de los recursos disponibles. En conjunto, estas actuaciones permiten mantener los niveles de riesgo dentro de umbrales aceptables, garantizando la continuidad del uso concesional del inmueble en el marco del dominio público marítimo-terrestre.

Las medidas propuestas se agrupan en función del tipo de riesgo al que responden:

- Frente a la inundación costera:
 - Instalación de barreras móviles o fijas en accesos vulnerables, que permitan contener el sobrepaso puntual del oleaje en eventos extremos.
 - Reforzamiento de los cerramientos acristalados de la planta baja, mediante soluciones estructurales o laminados de seguridad, para resistir presiones hidrodinámicas elevadas.
 - Incorporación de válvulas antirretorno en el sistema de drenaje pluvial, para evitar la entrada de agua marina en condiciones de marea alta.
 - Elaboración de un plan de emergencia específico para temporales, que contemple protocolos de cierre preventivo y protección de instalaciones sensibles.
- Frente a la inundación pluvial:
 - Implementación de sistemas de drenaje sostenible (SUDS) en el entorno inmediato, como zanjas filtrantes, alcorques drenantes o pavimentos permeables, que favorezcan la infiltración y reduzcan la escorrentía superficial.
 - Mantenimiento preventivo y refuerzo de sumideros, rejillas y canalizaciones existentes, especialmente en zonas de acceso y tránsito peatonal.
- Frente a la erosión costera:
 - Participación activa en programas de realimentación artificial del arenal, en coordinación con las autoridades competentes, para mantener el colchón natural de protección frente al oleaje.
 - Monitorización periódica de la evolución batimétrica de la playa, como herramienta de alerta temprana ante retrocesos significativos.
- Frente a la exposición estructural indirecta:
 - Aplicación de tratamientos anticorrosivos en elementos metálicos expuestos, con especial atención a barandillas, pasarelas y carpinterías.
 - Refuerzo de anclajes y cimentaciones superficiales en estructuras auxiliares (escaleras, plataformas), para mejorar su estabilidad ante eventos extremos.
 - Establecimiento de un plan de mantenimiento adaptativo, que incorpore inspecciones técnicas anuales y criterios de intervención preventiva.

Estas medidas permiten anticipar y gestionar los riesgos identificados, reforzando la resiliencia del edificio sin comprometer su valor patrimonial ni su funcionalidad actual.

6.3 Consideraciones para la Concesión

A la luz de los resultados obtenidos, se concluye que el edificio de la Sociedad Balneario:

- No se prevén afecciones estructurales directas en ninguno de los escenarios climáticos evaluados, siempre que se apliquen las medidas de adaptación propuestas. Según la matriz de riesgos, los impactos identificados son asumibles y no comprometen la integridad del edificio en los horizontes considerados.
- Dispone de margen suficiente de adaptación, tanto en términos constructivos como funcionales.
- Cumple con los requisitos establecidos en el artículo 92 del Reglamento General de Costas, al incorporar una evaluación detallada de los efectos del cambio climático y proponer medidas de adaptación coherentes con la Estrategia Nacional y el marco autonómico (KLIMA 2050, PTS Litoral, DOT).
- La ejecución previa de obras de refuerzo en los cerramientos de la planta baja, incluyendo carpinterías estructurales y barandillas de vidrio de alta resistencia, demuestra un compromiso con la adaptación progresiva del edificio frente a los riesgos climáticos identificados, en línea con los principios de precaución y resiliencia exigidos por la normativa vigente.

Por tanto, se considera técnicamente viable y ambientalmente compatible la continuidad del uso concesional del edificio, siempre que se mantenga un compromiso activo con la implementación progresiva de las medidas de adaptación propuestas.

7 REFERENCIAS

- [1] C. N. de I. Geográfica, «Centro de Descargas del CNIG (IGN)», Centro de Descargas del CNIG. Accedido: 28 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es>
- [2] «PORTUS (Puertos del Estado)». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://portus.puertos.es/#/>
- [3] IHM, «Visualizador de la IdelHm - Instituto Hidrográfico de la Marina». Accedido: 3 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ideihm.covam.es/visualizador/inicio>
- [4] IH Cantabria, «Determinación de alternativas de protección frente al oleaje de los cerramientos de la planta baja del Balneario de La Perla, San Sebastián», S.L. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Informe técnico para Sociedad del Balneario, 2008.
- [5] A. E. de Meteorología, «Donostia / San Sebastián, Igeldo: Donostia / San Sebastián, Igeldo - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tomcat46/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>
- [6] Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)], IPCC, 2014: *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza, 2015.
- [7] AZTI, «Kostaegoki. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático. Parte I. Análisis de vulnerabilidad y riesgo». Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Gobierno Vasco, marzo de 2022.
- [8] «Visor de geoEuskadi». Accedido: 30 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.geo.euskadi.eus/geobisorear?extent=-302905.0799,5299441.1157,-281158.7453,5310161.409,102100&layers=INGURUMENA_CAS_5055_360,INGURUMENA_CAS_5055_361
- [9] R. Santana-Aguilar, «Géomorphologie des bassins de la Bidassoa et de l'Urumea», These de docteurat d'université, Institut de géographie. Université du Chili, Bordeaux, 1966.
- [10] L. C. de Parada, «Instituto Hidrográfico de la Marina», *Bol. Inf. Serv. Geográfico Ejército*, n.º 37, pp. 7-17, 1977.
- [11] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO, «Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España», Madrid. ESPAÑA, 2024.
- [12] Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC y Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II, *El océano y la cíosfera en un clima cambiante*. Suiza, 2019.
- [13] Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)], «IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report.», pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- [14] IH Cantabria. (s.f.), «Manual de usuario del visor del C3E», Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- [15] A. B. Slanger *et al.*, «Projecting twenty-first century regional sea-level changes», *Clim. Change*, vol. 124, pp. 317-332, 2014.
- [16] Ihobe, *Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi*, Ihobe S.A., Diciembre 2022. Bilbao: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente Gobierno Vasco.
- [17] P. Camus, F. J. Mendez, R. Medina, A. Tomas, y C. Izaguirre, «High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas», *Coast. Eng.*, vol. 72, pp. 56-68, 2013.
- [18] «VISOR C3E». Accedido: 3 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://c3e.ihcantabria.com/>

ANEXO - PLANOS

