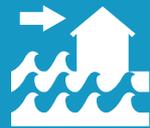


NAP Costas

Plan Nacional de
Adaptación Costera
de Uruguay

Documento preparatorio

Casos piloto. Playa del Cerro (Montevideo)





IH cantabria
INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente



CTCN

CLIMATE TECHNOLOGY CENTRE & NETWORK



**DESARROLLO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS
IMPACTOS, LA VULNERABILIDAD Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN
LA ZONA COSTERA DE URUGUAY**

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO (MONTEVIDEO)

Han elaborado este informe:

Ing. Patricia González-Lamuño

Dr. Saúl Torres-Ortega

Dr. Alexandra Toimil

Prof. Raúl Medina

Ing. Moisés Álvarez Cuesta

Ing. Sara Sanz Sáenz

Además, han participado en el proyecto:

Dr. Paula Camus

Dr. Melisa Menéndez

Dr. Marta Ramírez

Tec. Sheila Abad

Dr. Pedro Díaz-Simal

Ing. Juan Ortiz

El proyecto se ha desarrollado bajo la dirección del Prof. Iñigo Losada Rodríguez.

Nota: En este documento se utiliza la coma (p.ej. 85,32) como indicador decimal, y el punto (p.ej. 250.000) como separador de miles y millones.

Fotografía de portada: Playa del Cerro. Departamento de Montevideo. Fuente: playasdeluruguay.wordpress.com.

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	3
Antecedentes	6
1 Características de la zona piloto.....	7
1.1 Descripción general	7
2 Clima marítimo en la zona de estudio.....	10
2.1 Dinámicas históricas.....	10
2.2 Dinámicas futuras.....	13
3 Riesgo de inundación costera.....	14
3.1 Exposición.....	14
3.1.1 Exposición socioeconómica	14
3.1.2 Exposición física.....	16
3.2 Peligrosidad	17
3.2.1 Mapas de inundación	17
3.3 Riesgo	22
3.3.1 Población afectada por inundación costera.....	22
3.3.2 Daños sobre activos construidos debidos a inundación costera	25
4 Riesgo de erosión costera	28
4.1 Exposición.....	28
4.1.1 Exposición socioeconómica	28
4.1.2 Exposición física.....	29
4.2 Peligrosidad	29
4.2.1 Retroceso de la línea de costa.....	30
4.3 Riesgo	32
5 Conclusiones.....	35
6 Referencias.....	38

RESUMEN EJECUTIVO

DESCRIPCIÓN

- Playa del Cerro es una playa urbana situada en la zona sur del barrio residencial del Cerro, aproximadamente 6 kilómetros al oeste del centro de Montevideo.
- Es una playa pequeña, de aproximadamente 500 metros de longitud, encajada entre salientes rocosos.
- Su forma en planta es prácticamente rectilínea, mostrando una leve curvatura en ambos extremos por el efecto local de difracción-rotura del oleaje en los salientes rocosos.

DIAGNÓSTICO

A partir de la información del riesgo percibido por los agentes locales y del análisis de imágenes históricas de la playa se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En los últimos 10 años no se observan pérdidas de material por transporte longitudinal, por lo que se puede concluir que la playa está en un aparente equilibrio.
- Sí que existe una acusada variabilidad del perfil de playa que se manifiesta con la aparición de gravas en la zona Este en determinadas imágenes, que luego son cubiertas con arena.

DINÁMICAS ACTUALES

- La zona de estudio se localiza en el límite entre la zona intermedia y la zona exterior del estuario del Río de la Plata, donde tienen lugar procesos complejos debido, entre otros, a la interacción del flujo entrante hacia el continente en las zonas profundas y el flujo de descarga por las zonas someras.
- Playa del Cerro tiene una forma en planta prácticamente rectilínea mostrando una leve curvatura en ambos extremos por el efecto local de difracción-rotura del oleaje en los salientes rocosos. Está gobernada por la dirección del flujo medio de energía del oleaje ($112,5 - 157,5^\circ$).
- Las alturas de ola son pequeñas, siendo la altura de ola asociada al percentil 50% menor a 1 metro, y la altura de ola asociada al percentil 95% igual a 2,2 metros.
- El patrón de corrientes en la zona está regido por la interacción del régimen semidiurno de la marea junto con el caudal fluvial de los ríos Paraná y Uruguay y los vientos.

DINÁMICAS FUTURAS

- El aumento del nivel medio del mar esperado en 2100 en la costa de Uruguay es de 0,93 metros para el peor escenario (RCP8.5).
- La magnitud de los cambios en 2100 de los parámetros del oleaje es pequeña. Se esperan cambios de altura de ola significativa del orden de 0,03 - 0,04 m para los incrementos y 0,04 - 0,05 m para las disminuciones, cambios positivos de periodo de pico del orden de 0,05 s y negativos del orden de 0,1 s, y un giro antihorario del oleaje esperado entre $3-6^\circ$.

- La magnitud de los cambios en 2100 en el residuo del nivel del mar también es pequeña, del orden de 0,01-0,015 m.

INUNDACIÓN

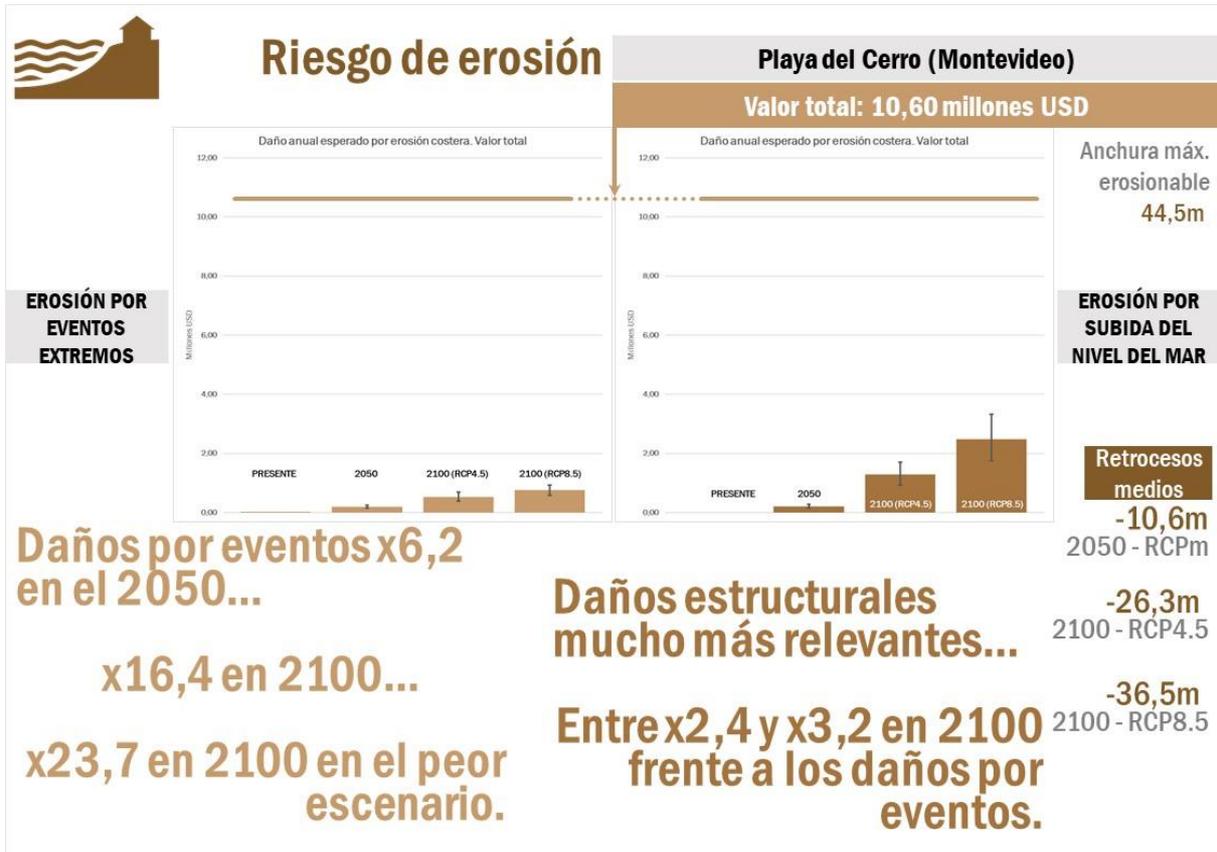
Del análisis de riesgo por inundación costera se concluye:

- No existe un gran riesgo de inundación, ni en el presente ni en los escenarios futuros previstos.
- En el presente, tan sólo aparecen problemas de inundación las zonas más próximas a la playa, que se ven inundadas incluso con eventos bajos.
- Estas inundaciones, sin embargo, no implican afecciones relevantes ni sobre la población ni sobre los activos construidos.
- La superficie inundada por eventos de periodos de 500 años en el presente se alcanzará entre los eventos de periodo de 100 años y de 50 años en 2050, en 2100 se alcanzará para eventos de periodo de 10 años en el RCP4.5 y para periodos de 5 años en el RCP8.5. Mostrando así también la influencia de la mitigación.
- En el futuro, la principal consecuencia será la inundación permanente que experimentará la zona más contigua a la línea de costa. La inundación debida a eventos extremos no aumentará significativamente en superficie, aunque si se darán en los escenarios futuros de manera más frecuente.

EROSIÓN

Del análisis de riesgo por erosión costera:

- El principal servicio proporcionado por la playa es el de recreación, multiplicando por más de 12 el valor del servicio de protección.
- El valor total de la playa se estima en 10,6 millones de USD anuales, 3,7 millones de USD anuales por hectárea, lo que la sitúa en el puesto número 93 en cuanto a playas más valiosas de la costa uruguaya (puesto número 18 si el ranking se hace atendiendo al valor por hectárea).
- En base a imágenes históricas se ha estimado que en el presente este tramo de playa ha sufrido pérdidas de hasta el 7,6% del área de provocadas por temporales.
- En el futuro más próximo (horizonte 2050), retrocesos con la misma probabilidad de ocurrencia que las pérdidas del 7,6% del área de playa del presente provocarán pérdidas del área de playa aproximadamente tres veces mayores.
- Además, se estima que el retroceso estructural de la línea de costa provocará la pérdida permanente de entre 9 y 12 metros de anchura de playa en 2050, y de hasta 47 metros en 2100.



ANTECEDENTES

Este documento es parte del proyecto “**Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay**”, financiado por el Climate Technology Center & Network, y corresponde a una de las evaluaciones de riesgo frente al cambio climático de los 6 sitios piloto seleccionados por el Gobierno de Uruguay. Los estudios piloto complementan el análisis de riesgo realizado a escala nacional y recogidos en los entregables D4.1 (IHCantabria, 2019c) y D4.2 (IHCantabria, 2019d) de este mismo proyecto.

Para el análisis de los sitios piloto se ha desarrollado una metodología específica que se ha recogido en el Entregable 4.4 de este proyecto (IHCantabria, 2019e). Por tanto, las bases metodológicas sobre las que se sustentan los resultados que se recogen a continuación no se describen en este documento.

Como primer paso en el análisis de los casos, durante los talleres celebrados en el marco de este proyecto en Montevideo en 2017, se hizo un análisis de los diferentes sitios piloto planteados por la administración uruguaya con los actores y agentes locales relevantes de cada una de las zonas de estudio.

Este documento analiza concretamente el caso piloto de Playa del Cerro, una de las dos playas consideradas para la Intendencia de Montevideo a propuesta de los departamentos competentes en la gestión de playas que son el Departamento de Planificación y el Departamento de Gestión Ambiental de la Intendencia.

En los talleres celebrados en Montevideo (2017) los agentes locales extrajeron las siguientes conclusiones acerca de la problemática existente en la intendencia de Montevideo:

- Problemas evidentes de erosión costera por acción antropogénica, fundamentalmente por la construcción de la rambla (paseo marítimo) sobre la duna primaria, así como las evacuaciones de los pluviales.
- La erosión por viento también es relevante.
- Se ha descuidado la vegetación de las dunas.
- Los problemas de erosión generan inundación y descalce y destrucción de los muros.

En los talleres se proponen dos zonas concretas de Montevideo para los estudios piloto: **Playa del Cerro** y Playa Carrasco.

Los departamentos competentes en la gestión son el Departamento de Planificación y el Departamento de Gestión Ambiental.

1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PILOTO

1.1 Descripción general

Playa del Cerro es una playa urbana situada en la zona sur del barrio residencial del Cerro, ubicado sobre el Cerro de Montevideo, aproximadamente 6 kilómetros al oeste del centro de Montevideo.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Playa del Cerro, Montevideo).

Principales elementos morfológicos

Playa del Cerro es una playa pequeña, de aproximadamente 500 metros de longitud, encajada entre dos salientes rocosos (Figura 2). Aunque es una playa encajada, su forma en planta es prácticamente rectilínea, mostrando una leve curvatura en ambos extremos por el efecto local de difracción-rotura del oleaje en los salientes rocosos.

Fuentes y sumideros de sedimento

No existe ningún río ni aporte sedimentario de entidad en la playa y tampoco se percibe que haya pérdida de sedimento- El balance neto de sedimentos en la playa es, por tanto, nulo.



Figura 2. Ubicación de Playa del Cerro (Fuente: Google Earth).

Evolución histórica

De la observación de imágenes satélite de la playa de los últimos 18 años (Figura 3) no se observan pérdidas de material por transporte longitudinal, por lo que se puede concluir que la playa está en un aparente equilibrio. Sí que existe una acusada variabilidad del perfil de playa que se manifiesta con la aparición de gravas en la zona este en determinadas imágenes, que luego son cubiertas con arena.

Diagnóstico inicial

Un diagnóstico inicial conduce a concluir que la playa del Cerro es una playa en equilibrio estático.



Figura 3. Comparativa de la situación de Playa del Cerro en 2001 y 2019 (Fuente: Google Earth).

2 CLIMA MARÍTIMO EN LA ZONA DE ESTUDIO

La costa uruguaya tiene aproximadamente 672 kilómetros de largo, de los cuales 452 km corresponden al Río de la Plata y 220 km al océano Atlántico. El Río de la Plata es un estuario con una dinámica compleja debido a la acción conjunta del caudal de los ríos Uruguay y Paraná, la marea astronómica (régimen micro-mareal), la marea meteorológica y el oleaje. Playa del Cerro (Montevideo) se localiza en el límite entre la zona intermedia y la zona exterior del estuario del Río de la Plata (Figura 4), donde tienen lugar procesos complejos debido, entre otros, a la interacción del flujo entrante hacia el continente en las zonas profundas y el flujo de descarga por las zonas someras (Fossati et al., 2014).



Figura 4. Morfología del Río de la Plata (Boschi, 1988).

2.1 Dinámicas históricas

Como primera aproximación para conocer y comprender las dinámicas en la zona de estudio, se han utilizado las fichas (Figura 6, Figura 7 y Figura 8) del Atlas Climático generado dentro del proyecto (IHCantabria, 2019a). Se ha escogido el punto más cercano a Playa del Cerro (punto 38, Figura 5). La profundidad en este punto es de aproximadamente 8 metros, por lo que el oleaje no está afectado por la rotura.

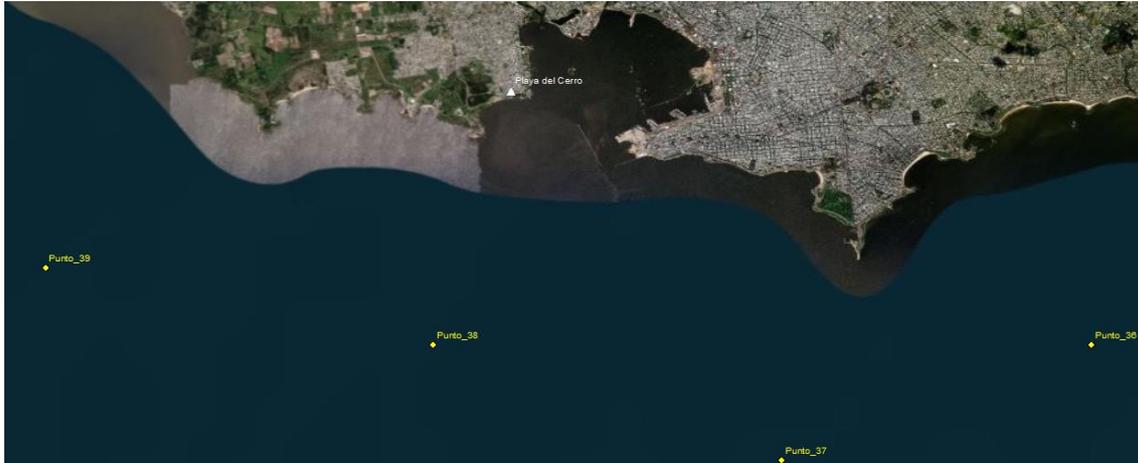


Figura 5. Localización del punto del Atlas más cercano a Playa del Cerro.

Como se comentaba anteriormente, Playa del Cerro tiene una forma en planta prácticamente rectilínea mostrando una leve curvatura en ambos extremos por el efecto local de difracción-rotura del oleaje en los salientes rocosos. Los oleajes más frecuentes y energéticos son los que provienen del sector direccional 112,5°-157,5° (Figura 6). Las alturas de ola son pequeñas, siendo la altura de ola asociada al percentil 50% menor a 1 metro, y la altura de ola asociada al percentil 95% igual a 2,2 metros. El oleaje presenta una variabilidad estacional pequeña, con cambios en la mediana de la altura de ola menores de 50 centímetros entre los meses de verano y los meses de invierno.

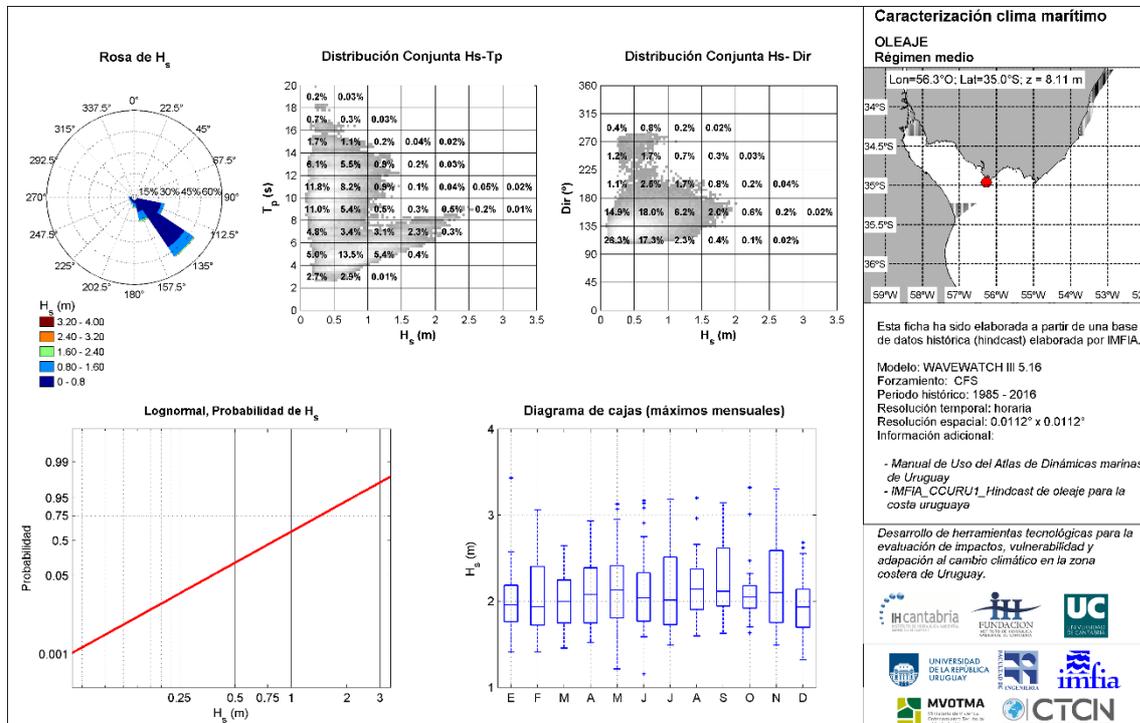


Figura 6. Caracterización del régimen medio de oleaje en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

En la Figura 7 se muestra el ajuste del régimen extremal de altura de ola significativa. En la tabla ubicada en la parte inferior izquierda de la ficha se recoge la altura de ola significativa (y el intervalo de confianza del 95%) asociada a los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. La diferencia entre la altura de ola asociada a un periodo de retorno de 100 años y la asociada a un periodo de retorno de 10 años es de 22 centímetros.

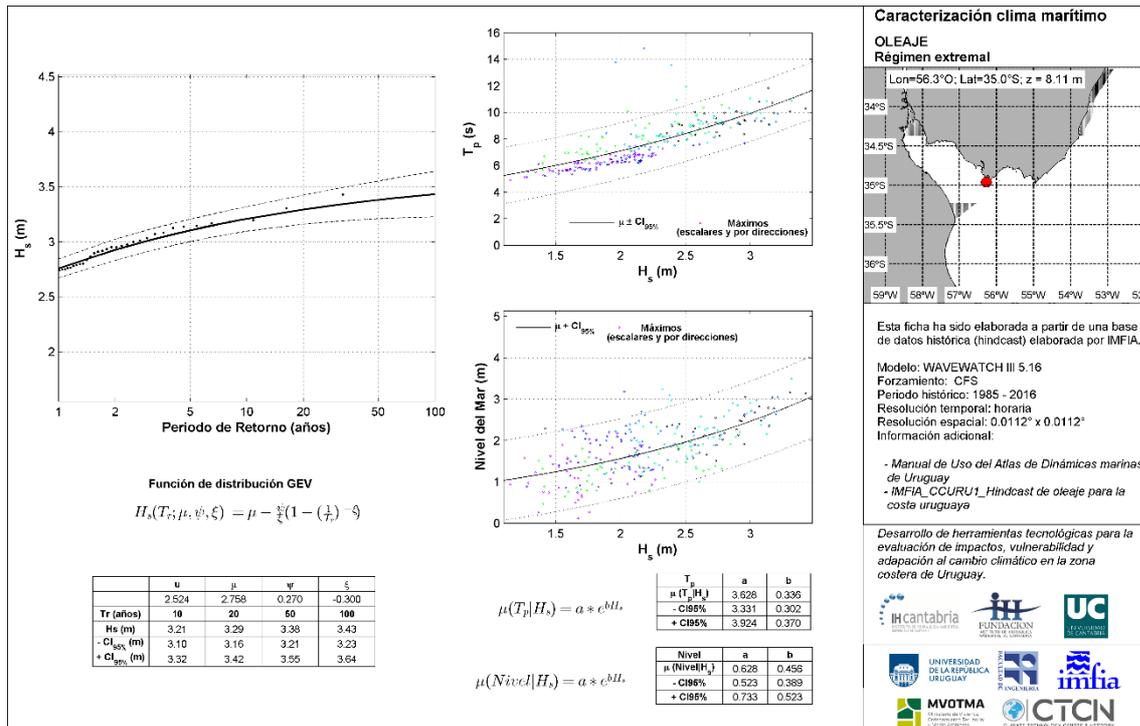


Figura 7. Caracterización del régimen extremal de oleaje en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

En la tercera ficha (Figura 8) se caracterizan los regímenes medio y extremal del nivel del mar y la distribución direccional de las corrientes marinas. Cabe destacar de la rosa direccional de corrientes que las direcciones predominantes de las corrientes marinas provienen de los sectores [270° - 315°] y [90° - 135°]. Las corrientes provenientes del noroeste tienen una intensidad de hasta 0,37 m/s, con intensidades máximas de hasta 1,1 m/s, mientras que las corrientes del sudeste tienen una intensidad de hasta 0,74 m/s. El patrón de corrientes en la zona está regido por la interacción del régimen semidiurno de la marea junto con el caudal fluvial de los ríos Paraná y Uruguay y los vientos (Fossati et al., 2014).

Se aprecia la misma variabilidad estacional que en el oleaje en el nivel del mar (cambios estacionales en la marea meteorológica), con cambios en el nivel de hasta 50 centímetros en los percentiles 50% y 75% entre los meses de enero y diciembre y los meses de junio, julio y agosto.

En la parte inferior de la ficha se muestra el ajuste de extremos del nivel del mar. La tabla recoge el nivel del mar asociado a los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Se observa que la diferencia entre nivel del mar asociado a un periodo de retorno de 100 años y el asociado a un periodo de retorno

de 10 años es de 30 centímetros, 8 centímetros mayor que la diferencia entre las alturas de ola asociadas a los mismos periodos de retorno (22 centímetros).

Teniendo en cuenta que la contribución del oleaje en la sobreelevación de la lámina de agua es un porcentaje de la altura de ola, desde el punto de vista del impacto de inundación costera, donde se estudian eventos con cotas de inundación extremas, el nivel del mar en el punto climático de estudio debe ser considerado como la dinámica predominante. La cota de inundación (CI) es un indicador para estimar el nivel total del mar, y se calcula como la suma del runup, las mareas y el aumento del nivel medio del mar, en el caso de estar calculando cotas de inundación futuras.

En este caso, un evento extremo de nivel del mar, considerando como tal la suma de marea meteorológica y marea astronómica, puede generar una sobreelevación de la lámina de agua mucho mayor que un evento extremo de oleaje.

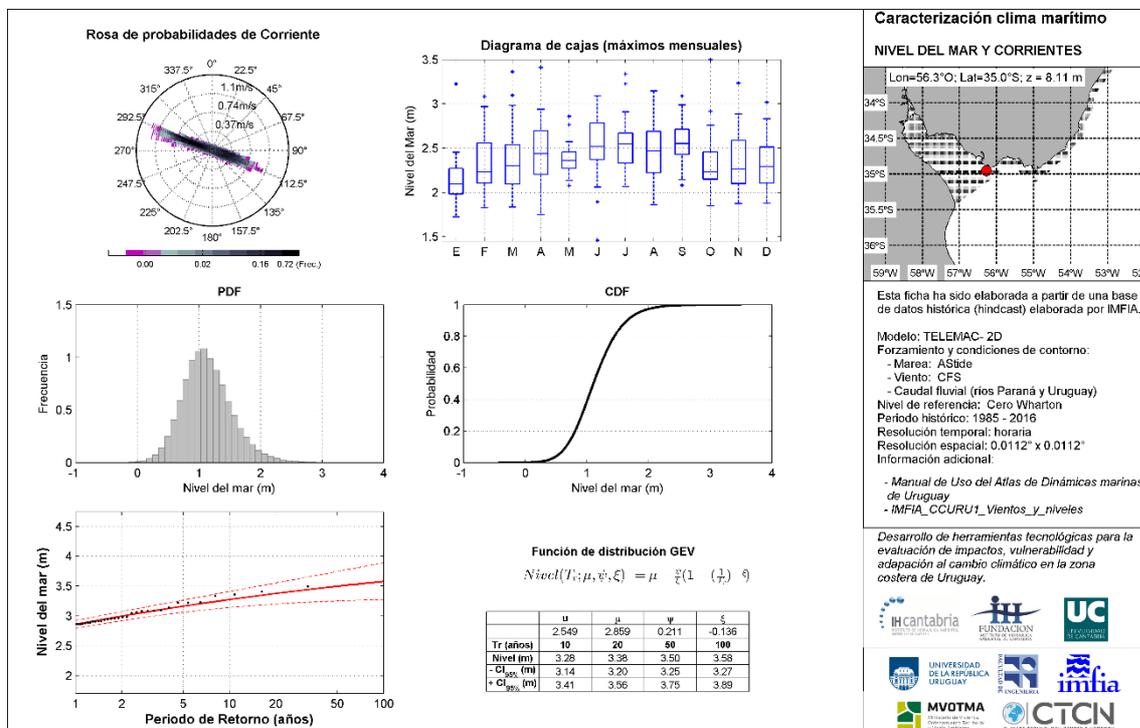


Figura 8. Caracterización del nivel del mar y corrientes en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

2.2 Dinámicas futuras

Por lo que respecta al estudio de los impactos de inundación y erosión costera, las conclusiones más importantes del estudio de las proyecciones de oleaje, residuo del nivel del mar y nivel medio del mar generadas dentro del marco del proyecto (IHCantabria, 2019b) se resumen en los siguientes puntos:

- Se esperan aumentos máximos del percentil 95% de la altura de ola significativa del 4%, una disminución máxima del periodo de pico del orden de 3%; un giro de la dirección media del oleaje hacia el E del orden de los 3-4°, y aumentos del residuo del nivel del mar menores al 1% en el Río de la Plata a fin de siglo XXI (2070-2099) para el escenario RCP8.5. La magnitud de los

cambios de Hs es del orden de 0,03-0,04 m para los incrementos y 0,04-0,05 m para las disminuciones. Los cambios positivos de Tp son del orden de 0,05 s y los negativos del orden de 0,1 s. El giro antihorario del oleaje se espera entre 3-6°. Los cambios en el residuo del nivel del mar son del orden de 0,01-0,015 m.

- En cuanto al incremento del nivel medio del mar en aguas abiertas próximas a la desembocadura del Río de La Plata, la estimación media con su incertidumbre, definida por el percentil del 5% y del 95%, es de 0,26 [0,21 – 0,31] metros en 2050 para el RCP promedio, y de 0,58 [0,48 – 0,67] y 0,80 [0,66 – 0,93] metros en 2100 para el escenario RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente. Los resultados se han estimado para el conjunto de 21 modelos del CMP5 (Church et al., 2013). La banda de confianza se ha estimado como se propone en Church et al. (2013), suponiendo una distribución t-student.

El incremento del nivel del mar intensificado con un aumento del oleaje y de la componente atmosférica del nivel del mar es susceptible de producir un aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos de inundación. El cambio en la dirección de oleaje genera un cambio en el transporte de sedimentos, lo que puede conllevar un aumento de los procesos erosivos y un cambio en la orientación de las playas que puede traducirse en una pérdida de anchura de playa seca.

En este caso, y dado que en el resto de las variables los cambios son pequeños, solamente se han tenido en cuenta las proyecciones de aumento del nivel medio del mar en el modelado de los impactos de inundación y erosión en el futuro. Sin embargo, en los estudios que se vayan a realizar para la implementación de potenciales proyectos de adaptación, estos cambios en las dinámicas correspondientes al oleaje y marea meteorológica deberían ser considerados con detalle por su contribución a los criterios de diseño generalmente empleados.

3 RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA

3.1 Exposición

3.1.1 Exposición socioeconómica

En el caso del impacto de inundación, la exposición se define a través de la caracterización espacial de la población y de los activos construidos (edificaciones) de las zonas potencialmente inundables existentes dentro del área de estudio. La metodología seguida para el estudio de ambos elementos socioeconómicos se recoge con detalle en el documento metodológico.

La Figura 9 muestra el mapa de exposición de la población, basado en el periodo 2010-2018, expresado en número de personas expuestas por m². Esta caracterización imputa a cada parcela catastral los datos poblacionales de la zona censal en la que se encuentra. Así, una parcela censal con una densidad de población de 0,056 personas/m² que ocupa un área de 1.000 m², representa a 56 personas residiendo en dicho polígono.

La Figura 20 muestra la caracterización de los activos construidos, mostrando su valor económico en USD por m² (basado en datos catastrales del año 2018) y con nivel de detalle de parcela catastral.

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

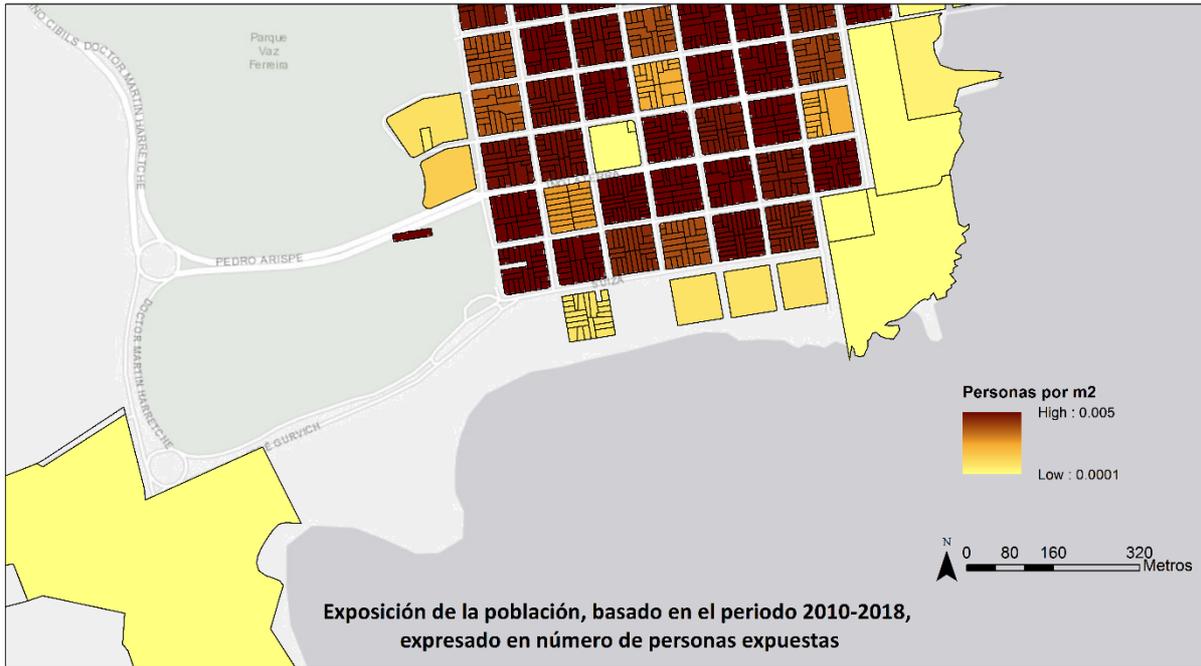


Figura 9. Mapa de exposición de la población, basado en el periodo 2010-2018, expresado en número de personas expuestas por m².

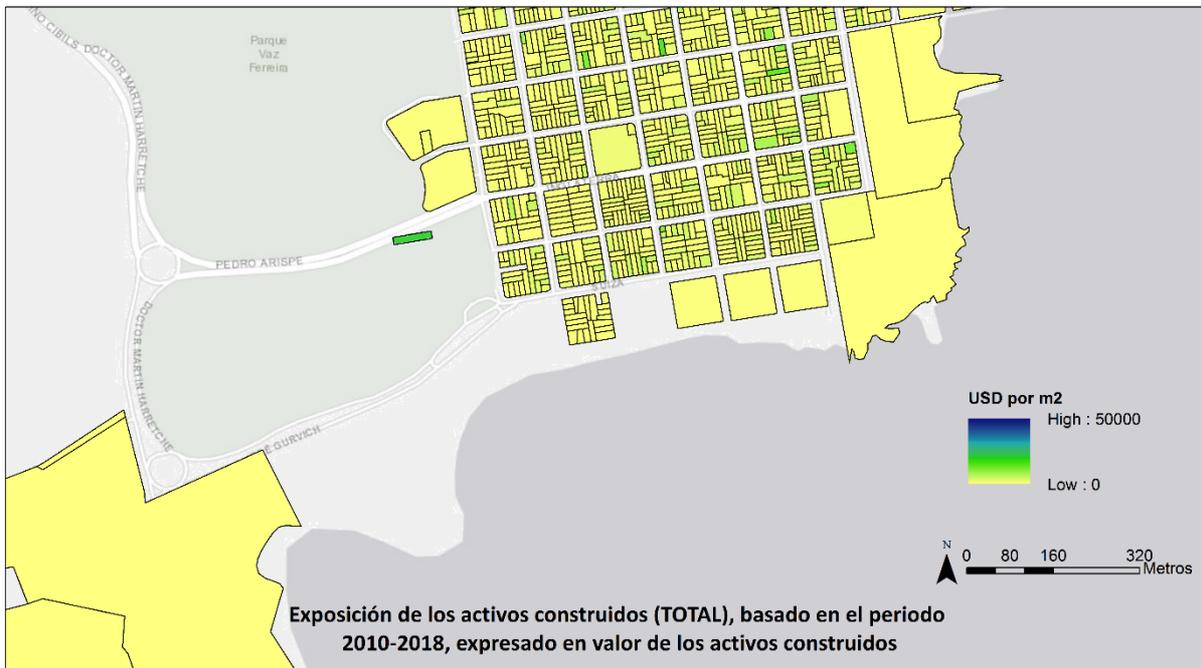


Figura 10. Mapa del valor de exposición del stock construido (total), basado en el periodo 2010-2018, expresado en número de USD por m².

En la Figura 9 se puede observar que según los datos del Censo existe una alta densidad de población en la zona, aunque los edificios más cercanos a la playa son precisamente en los que esta densidad es menor. Esta elevada densidad aparente viene sin embargo determinada por el tamaño reducido de las

parcelas catastrales utilizadas, no representando necesariamente que exista una gran cantidad de residentes en la zona. Los espacios de densidad de población más baja en la zona de estudio corresponden al varadero y astillero y al Estadio Olímpico de Rampla Juniors situados al este y a una zona no urbanizada situada al oeste.

En la Figura 10 por otro lado se observa que el valor (obtenido de datos catastrales oficiales) de las edificaciones incluidas en la zona de estudio es reducido, comparado con lo que se obtiene del análisis del resto del país, a excepción de un edificio residencial con valor alto en la calle Pedro Indio Arispe.

En la Figura 11 se recoge un ejemplo de la edificación existente en la zona, que concuerda con las conclusiones obtenidas de la caracterización de la exposición.



Figura 11. Ejemplo de edificación existente en la zona de Playa del Cerro.

3.1.2 Exposición física

El modelo de inundación utilizado crea una malla computacional basada en la topografía subyacente, para lo que se ha utilizado el Modelo Digital de Terreno (MDT) encargado por el MVOTMA y desarrollada por IDEUy.

En la Figura 12 se muestra el MDT de las zonas costeras de baja altitud del Cerro de Montevideo. Como se puede observar, la zona urbanizada de la Villa del Cerro se encuentra a cotas por encima de los 10 m, excepto una parcela al sur de la calle Suiza que sería potencialmente inundable. El varadero y astillero, el Estadio Olímpico y la zona no urbanizada de vegetación al oeste se encontrarían también por debajo de los 10 m, dentro del área potencialmente inundable.

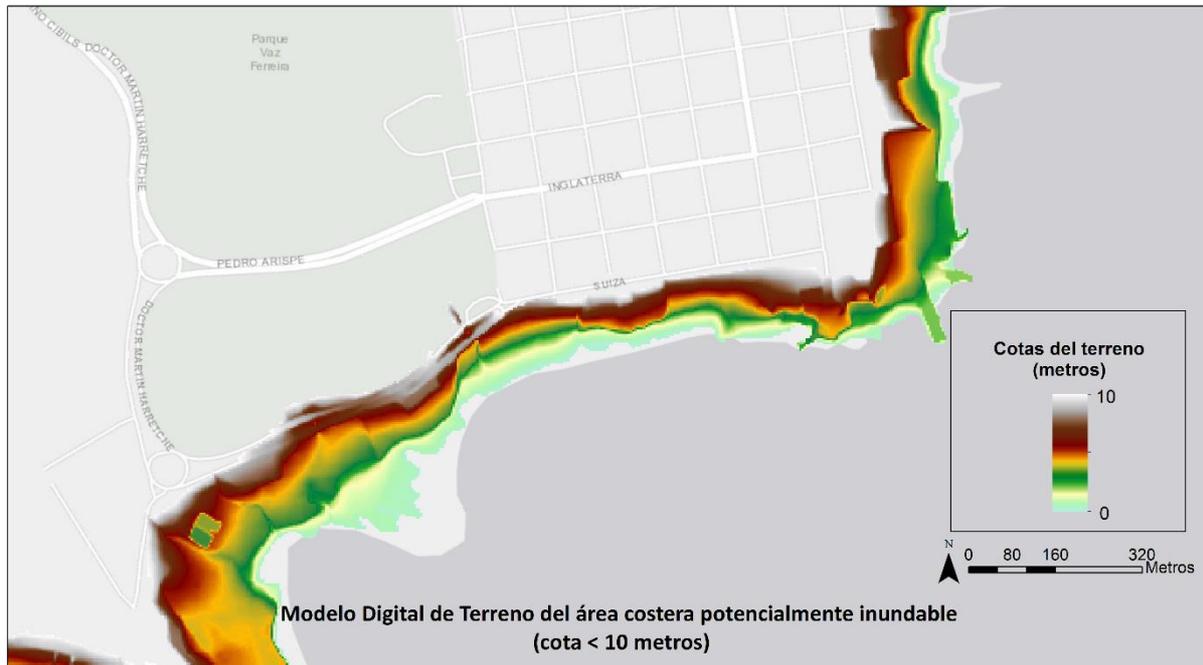


Figura 12. Modelo Digital de Terreno del área potencialmente inundable de la zona de estudio (Fuente: IDEUy).

3.2 Peligrosidad

Se ha modelado la inundación costera con un modelo hidrodinámico de procesos (Jamieson et al., 2012) sensible a la rugosidad del terreno que resuelve la inundación en tierra debida a condiciones hidrodinámicas costeras y continentales. El modelo se ha forzado con cotas de inundación extremas y se han obtenido los mapas de peligrosidad asociados. Estos mapas tienen una gran resolución espacial (4x4 metros), y representan la extensión y la profundidad de agua de la zona inundada.

3.2.1 Mapas de inundación

Los mapas generados muestran la inundación debida a una amenaza o evento extremo de cota de inundación. En los mapas que se muestran a continuación (Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16) se pueden identificar las zonas susceptibles de inundación, en el presente y en el futuro, para distintos niveles de amenaza: probabilidad de ocurrencia alta (periodos de retorno de $Tr= 5$ y 10 años), media ($Tr= 25$ y 50 años), baja ($Tr= 100$ años) o muy baja ($Tr= 500$ años). La Tabla 1 recoge las áreas de la superficie inundada en la zona de estudio, para todos los escenarios considerados. Se muestra también la inundación asociada a condiciones medias de oleaje y marea.

En el **presente** (Figura 13), se puede observar que principalmente son los eventos de mayor ocurrencia, $Tr= 5$ años, los que se propagan en la costa de la Playa del Cerro, los eventos de menor ocurrencia hasta $Tr= 500$ años no incrementan de manera significativa la extensión inundada. La parcela

potencialmente inundable al sur de la calle Suiza llegaría a verse afectada en su parte más cercana a la costa en condiciones de ocurrencia alta, $Tr=5$ años. En el varadero y astillero, en el Estadio Olímpico y en la zona no urbanizada al oeste se observa de manera más extendida la propagación de eventos de menor ocurrencia, desde $Tr=10$ años a $Tr=500$ años. Sin embargo, la extensión de estos eventos de menor ocurrencia es muy reducida en comparación a los eventos de 5 años. En condiciones medias la extensión también es muy reducida. Se observa que para una amenaza con probabilidad muy baja ($Tr=500$ años) de ocurrencia, la extensión de la zona inundable (92.192 m^2) es un 18% mayor respecto al evento de $Tr=25$ años (78.368 m^2).

En vista de los mapas de inundación, se podría considerar que, en el presente, las únicas zonas susceptibles de inundación serían la parcela urbanizada al sur de la calle Suiza, el varadero y astillero y el Estadio Olímpico desde eventos de ocurrencia alta ($Tr=5$ años) a los de menor ocurrencia ($Tr=500$ años), sin verse incrementada significativamente la superficie inundada por estos últimos.

En **2050** (Figura 14), y en ausencia de adaptación, la zona inundable mantiene la misma extensión. Sin embargo, se observa una mayor inundación en condiciones medias a lo largo de la costa, principalmente en Playa del Cerro. También en el varadero y astillero y en el Estadio Olímpico se observa la aparición en la zona inundada de eventos de $Tr=10$ años que antes eran de 25-50 años. La parcela urbanizada al sur de la calle Suiza seguiría viéndose afectada por inundaciones de ocurrencia alta de 5 años. En 2050, la superficie inundable entre el evento $Tr=100$ años (94.768 m^2) y $Tr=50$ años (90.976 m^2) alcanza la superficie inundable asociada al evento $Tr=500$ años en el presente. Asimismo, la superficie inundable asociada al $Tr=500$ años en 2050 ($1.485.056\text{ m}^2$) aumenta un 12% respecto a la superficie inundable para el mismo periodo en el presente.

Por tanto, para el horizonte 2050 se observan dos cuestiones fundamentales. Por un lado, las superficies inundables que en el presente se producen para altos periodos de retorno, aumentan ligeramente la frecuencia en 2050. Por otro lado, para un mismo periodo de retorno, los eventos extremos producirán mayor superficie de inundación en 2050 que en el presente.

En **2100** (Figura 15 y Figura 16), se puede observar que, en los dos posibles escenarios de emisión contemplados, la extensión de la inundación sigue siendo la misma y los dos escenarios presentan situaciones similares. Sin embargo, en estos escenarios la parcela al sur de la calle Suiza se vería también afectada por eventos en condiciones medias. Las zonas del varadero y astillero y el Estadio Olímpico en 2050 inundadas por eventos de $Tr=10$ años, en los escenarios de 2100 se verían afectadas por eventos con periodos de ocurrencia de 5 años.

En términos de extensión de la superficie inundada, en 2100 y para el RCP4.5 el evento con $Tr=10$ años (92.896 m^2) tiene la superficie inundable más cercana al evento $Tr=500$ años en el presente (92.192 m^2). En 2100 y para el RCP8.5 el evento con superficie inundable más cercana al evento $Tr=500$ años en el presente es el evento de $Tr=5$ años (95.856 m^2).

Se puede concluir que, además de la adaptación, la senda de mitigación jugará un papel importante sobre la superficie inundable en esta zona a partir de mitad de siglo.

Esto es especialmente reseñable en 2100 año en que, para los casos considerados, el periodo de retorno de 500 años en el presente se divide por un factor de 50 para el RCP4.5 y de 100 para el RCP8.5.

Tabla 1. Extensión de la superficie inundada en la zona de estudio, para cada escenario climático de inundación.

Área (m ²)	Presente	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
		P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
Cond. medias	6.224	18.064	20.224	22.272	29.248	32.368	35.536	25.184	39.264	43.488
Tr=5	70.704	75.248	76.864	78.416	84.368	87.616	91.056	90.640	95.856	100.816
Tr=10	73.728	80.112	81.504	83.456	89.360	92.896	96.784	96.304	101.200	106.896
Tr=25	78.368	85.568	87.248	89.024	95.440	99.088	103.024	102.496	108.224	115.488
Tr=50	81.968	89.328	90.976	92.944	99.520	103.344	107.456	107.072	113.904	123.696
Tr=100	85.216	92.816	94.768	96.832	103.392	107.536	112.384	111.760	121.040	130.656
Tr=500	92.192	100.256	102.096	104.240	112.240	119.264	125.856	125.120	135.088	146.176

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

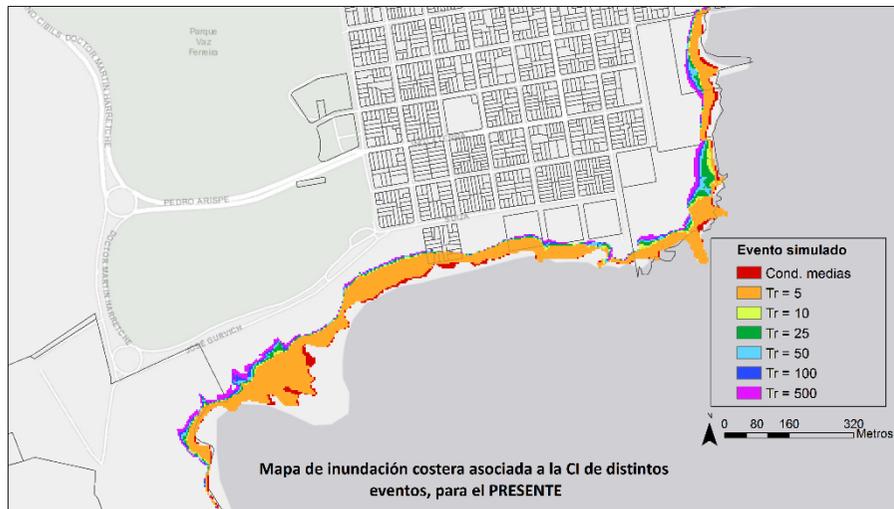


Figura 13. Inundación en el presente para distintos eventos

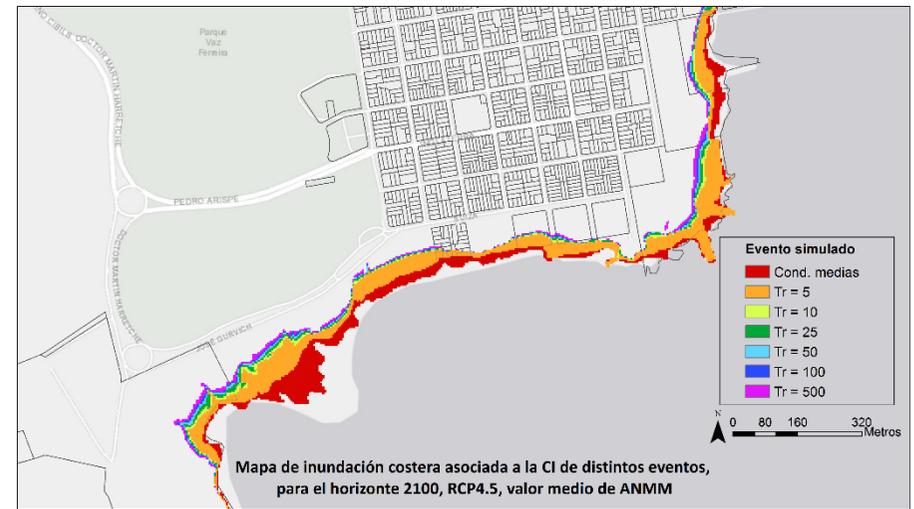


Figura 15. Inundación en 2100 (RCP4.5) para distintos eventos

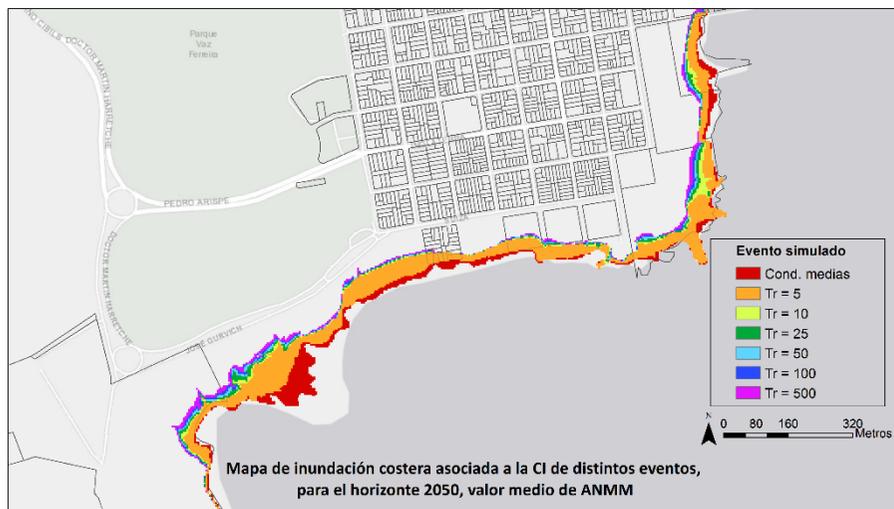


Figura 14. Inundación en 2050 para distintos eventos



Figura 16. Inundación en 2100 (RCP8.5) para distintos eventos

La consideración de la incertidumbre en el aumento del nivel medio del mar en el estudio de inundación costera permite acotar la extensión y la cota máxima de agua de la superficie inundada. En los mapas siguientes se muestra la superposición de la inundación asociada a un evento extremo para cada uno de los valores considerados de la distribución de aumento de nivel medio del mar, en 2050 (Figura 17) y 2100 RCP8.5 (Figura 18). La extensión y la cota máxima de la superficie inundada se recogen en la Tabla 2.

En el mapa de inundación en 2050 (Figura 17), donde el rango de ANMM se encuentra más acotado, las diferencias aproximadas entre la inundación producida con el ANMM medio y el percentil 5% y 95% son de 1.950 m² y 2.064 m², respectivamente. En 2100 (Figura 18), las diferencias aproximadas entre la inundación producida con el ANMM medio y el percentil 5% y 95% son de 9.200 m² y 9.600 m², respectivamente. La extensión de la superficie inundada es similar en 2050 y 2100, debido a la altitud del terreno en el que se encuentra encajada la playa (Cerro de Montevideo), que reduce la exposición a la inundación de la zona. La Tabla 2 recoge las diferencias entre las diferentes simulaciones realizadas.



Figura 17. Análisis de la incertidumbre asociada al aumento del nivel medio del mar en 2050.



Figura 18. Análisis de la incertidumbre asociada al aumento del nivel medio del mar en 2100 (RCP8.5).

Tabla 2. Cuantificación de la incertidumbre debida al ANMM en la inundación costera.

	2050			2100 RCP8.5		
	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
ANMM (m)	0,21	0,26	0,31	0,66	0,80	0,93
Superficie inundada (m ²)	92.816	94.768	96.832	111.760	121.040	130.656
Cota máx (m)	3,36	3,41	3,47	4,05	4,20	4,34

3.3 Riesgo

El riesgo de inundación se obtiene como la integración de la información de peligrosidad con la exposición y la vulnerabilidad. En este apartado se muestran los resultados cuantitativos del daño sobre la población y los activos construidos de manera numérica en tablas e histogramas para la zona de estudio.

3.3.1 Población afectada por inundación costera

En la se presentan las consecuencias sobre la población, tanto para el umbral de afección (que puede considerarse como un equivalente a la función de daño) de 0,30 metros como para el de 0,01 metros. Obsérvese que, en el segundo caso, el umbral de afección es tan pequeño que el resultado de riesgo obtenido sería prácticamente equivalente a lo que en este estudio se ha llamado exposición.

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

En las tablas se recoge el número de personas que resultarían afectadas para cada periodo de retorno en cada uno de los escenarios analizados. Es importante señalar que para este análisis se ha utilizado la distribución de población correspondiente al presente. Proyecciones de población futuras conducirían a resultados diferentes.

Tabla 3 y Tabla 4 se presentan las consecuencias sobre la población, tanto para el umbral de afección (que puede considerarse como un equivalente a la función de daño) de 0,30 metros como para el de 0,01 metros. Obsérvese que, en el segundo caso, el umbral de afección es tan pequeño que el resultado de riesgo obtenido sería prácticamente equivalente a lo que en este estudio se ha llamado exposición.

En las tablas se recoge el número de personas que resultarían afectadas para cada periodo de retorno en cada uno de los escenarios analizados. Es importante señalar que para este análisis se ha utilizado la distribución de población correspondiente al presente. Proyecciones de población futuras conducirían a resultados diferentes.

Tabla 3. Consecuencias sobre la población (umbral de 0,30m), expresado en número de personas afectadas. La peligrosidad varía entre el presente y diferentes escenarios. La población sobre la que se proyecta el riesgo es la presente.

	Probabilidad	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,002	
Umbral 0,30m	Periodo de retorno	TR=5	TR=10	TR=25	TR=50	TR=100	TR=500	DAE
PRESENTE	Valor medio	3	3	3	3	3	4	1
2050	Percent. 5%	3	3	3	4	4	4	1
	Valor medio	3	3	3	4	4	4	1
	Percent. 95%	3	3	4	4	4	4	1
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	3	4	4	4	4	4	1
	Valor medio	3	4	4	4	4	5	1
	Percent. 95%	4	4	4	4	4	5	1
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	4	4	4	4	4	5	1
	Valor medio	4	4	4	4	5	5	1
	Percent. 95%	4	4	5	5	5	5	1

Tabla 4. Consecuencias sobre la población (umbral de 0,01m), expresado en número de personas afectadas. La peligrosidad varía entre el presente y diferentes escenarios. La población sobre la que se proyecta el riesgo es la presente.

	Probabilidad	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,002	
Umbral 0,01m	Periodo de retorno	TR=5	TR=10	TR=25	TR=50	TR=100	TR=500	DAE
PRESENTE	Valor medio	3	3	4	4	4	4	1
2050	Percent. 5%	3	4	4	4	4	5	1
	Valor medio	3	4	4	4	4	5	1

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

	Percent. 95%	4	4	4	4	4	5	1
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	4	4	4	4	5	5	1
	Valor medio	4	4	4	5	5	5	1
	Percent. 95%	4	4	5	5	5	6	1
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	4	4	5	5	5	6	1
	Valor medio	4	5	5	5	5	6	1
	Percent. 95%	4	5	5	5	6	6	1

Se observa cómo la afección a la población es mínima en la zona de estudio, tanto para la situación presente como para los distintos escenarios futuros. Aunque la exposición es alta (alta densidad de población), la zona potencialmente inundable es limitada debido a la altitud del terreno, por lo que la afección también lo es.

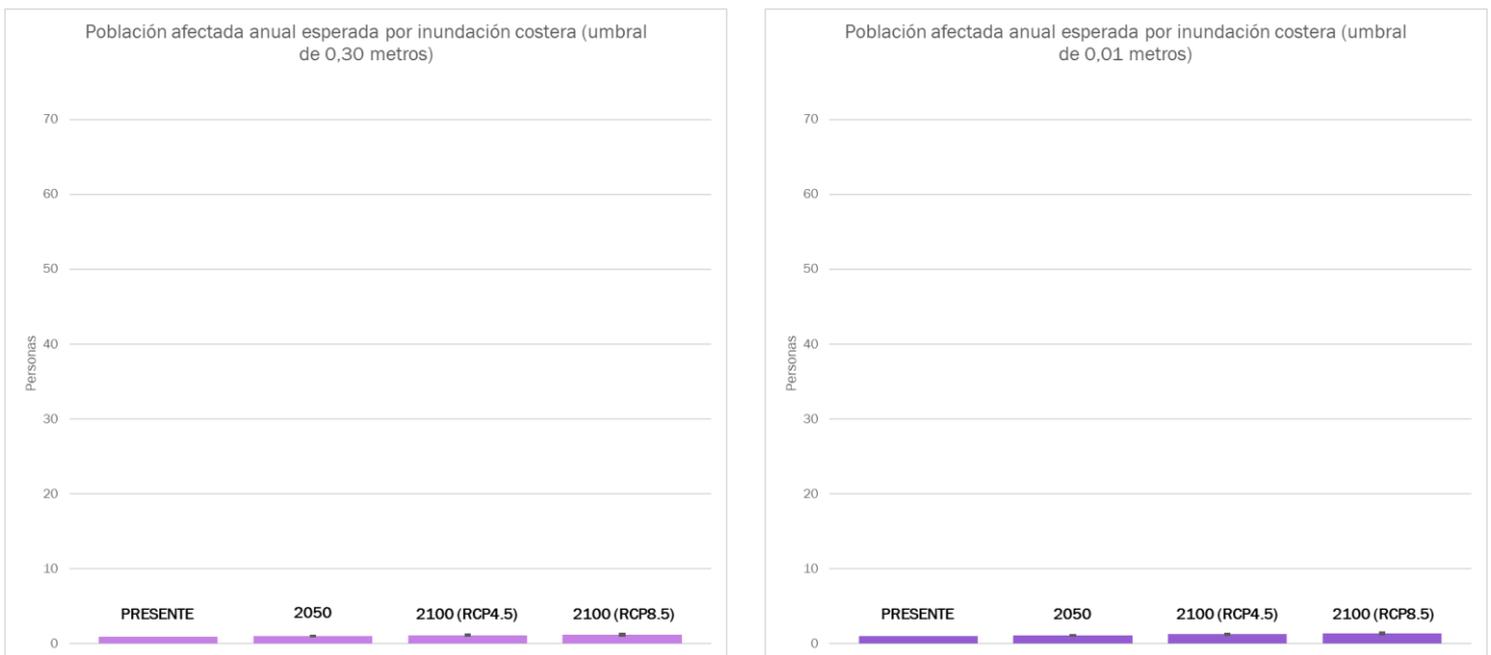


Figura 19. Riesgo de inundación sobre la población, expresado como población anual esperada en número de personas afectadas. A la izquierda, personas afectadas con más de 30 centímetros de altura de agua. A la derecha, personas afectadas con más de 1 centímetro de altura de agua.

En base a estos resultados de personas afectadas se puede concluir que el riesgo sobre la población se mantendrá en unos valores similares a los actuales en los próximos años, sin variaciones relevantes en ninguno de los escenarios analizados.

No obstante, lo anterior, estos resultados precisan ser matizados. En primer lugar, la población de base utilizada ha sido la presente. Evidentemente, un incremento de la población en la zona incrementará el riesgo para cualquiera de los escenarios de peligrosidad considerados. Asimismo, la base de datos de población actual no tiene en cuenta la estacionalidad en la distribución de la población por lo que es altamente probable que en esta zona el riesgo aumente por el incremento de población en la época de vacaciones. Finalmente, es también necesario mencionar que los órdenes de exposición de la población expuesta ante los escenarios de peligrosidad considerados, parecen evidenciar que las consecuencias negativas podrán ser abordadas a través de la adaptación.

3.3.2 Daños sobre activos construidos debidos a inundación costera

En la Tabla 5 se presentan las consecuencias sobre los activos construidos. Se recoge el daño sobre las edificaciones expresado en USD para cada periodo de retorno en cada uno de los escenarios analizados.

Tabla 5. Consecuencias sobre los activos construidos, expresado en USD dañados (estimación en base a datos catastrales).

	Probabilidad	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,002	
	Periodo de retorno	TR=5	TR=10	TR=25	TR=50	TR=100	TR=500	DAE
PRESENTE	Valor medio	60.145	65.756	72.423	77.123	81.641	91.369	19.436
2050	Percent. 5%	68.354	74.305	81.474	86.616	91.576	102.137	21.988
	Valor medio	70.324	76.373	83.729	88.982	94.008	104.764	22.607
	Percent. 95%	72.380	78.484	85.999	91.369	96.497	107.459	23.245
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	79.708	86.299	94.359	100.129	105.610	117.561	25.557
	Valor medio	84.036	90.879	99.296	105.251	110.979	123.846	26.920
	Percent. 95%	88.512	95.671	104.395	110.625	116.773	130.766	28.340
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	87.999	95.107	103.803	109.999	116.111	129.970	28.175
	Valor medio	94.483	101.996	111.227	118.040	124.880	140.645	30.238
	Percent. 95%	101.368	109.280	119.440	127.139	134.949	152.863	32.458

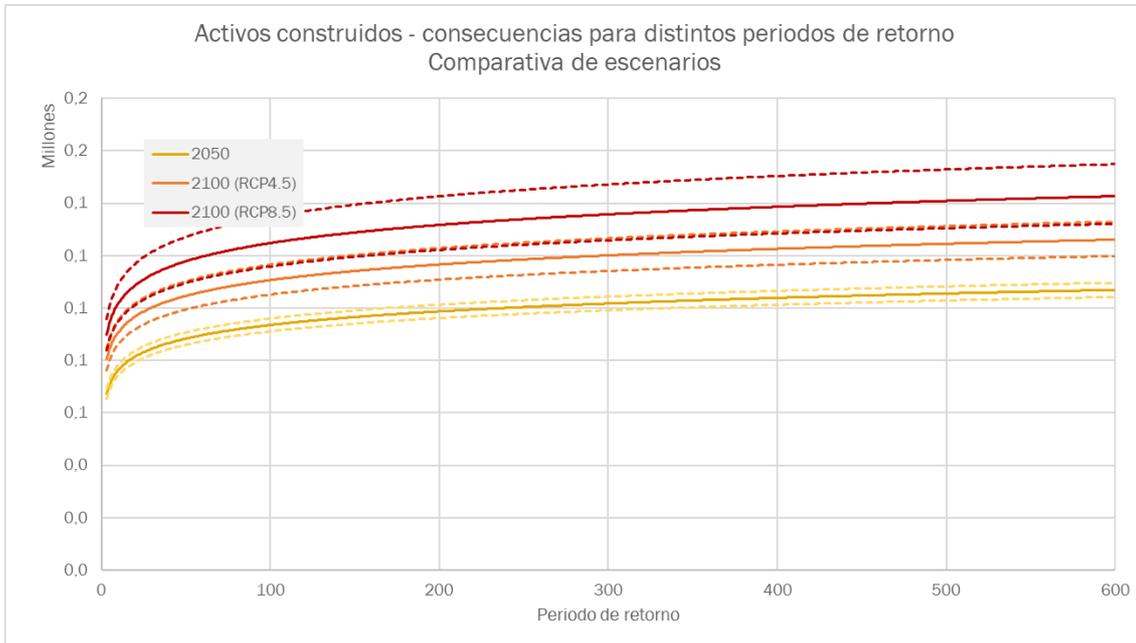


Figura 20. Consecuencias sobre los activos construidos para distintos periodos de retorno para los horizontes 2050 y 2100 (estimación en base a datos catastrales). Las líneas continuas representan el valor medio, mientras que las líneas discontinuas representan los percentiles del 5% y del 95%.

De forma paralela a como ocurre con la población, se comprueba que los daños ocasionados por inundación costera son mínimos, para todos los periodos de retorno y escenarios, tanto en el presente como en el futuro.

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

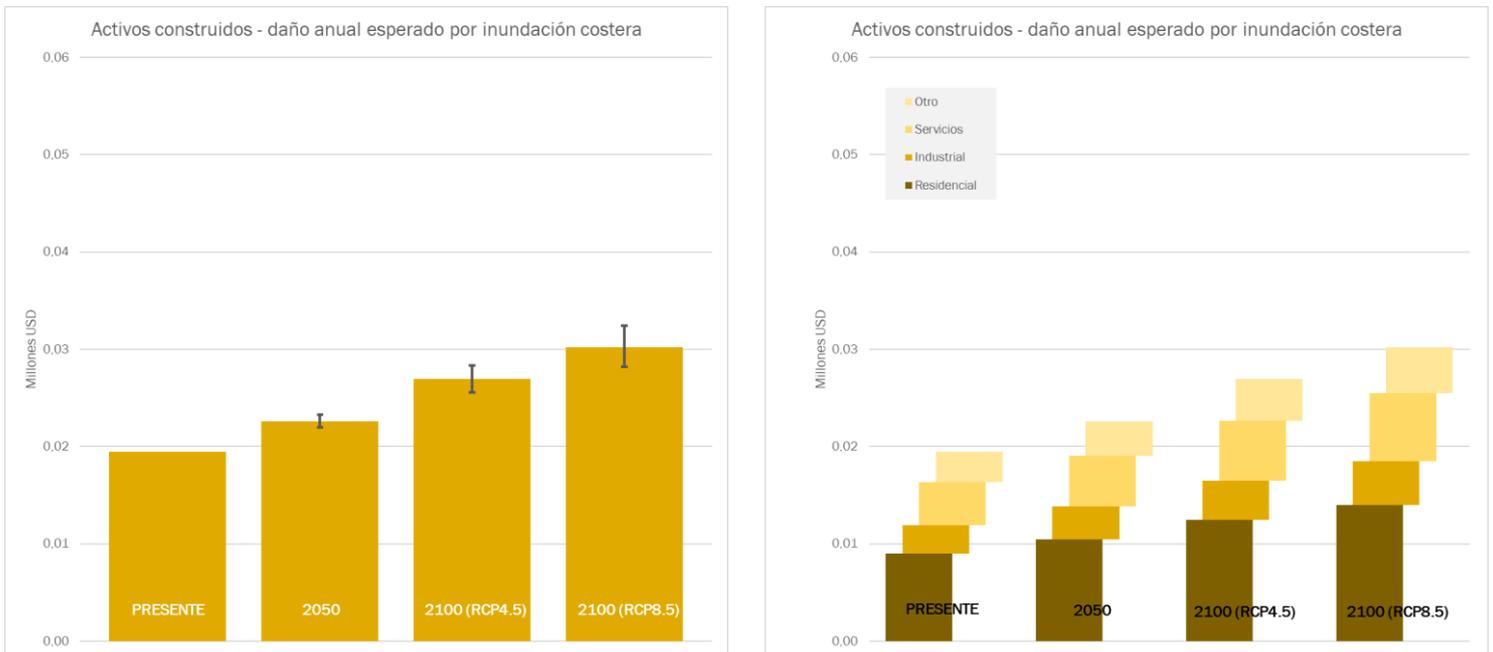


Figura 21. Riesgo de inundación sobre los activos construidos, expresado como daño anual esperado en millones de USD (estimación en base a datos catastrales). A la izquierda, el total de daño esperado. A la derecha, la distinción en categorías de activos construidos (residencial, industrial, servicios y otros).

Aun cuando los daños resultan pequeños en orden de magnitud (alrededor de los 20.000 USD de daño anual esperado en el escenario presente), y se puede concluir que no existe riesgo relevante de inundación, en el futuro este nivel de riesgo aumentará alrededor de un 15% en el año 2050 y entre un 35% y un 50% en el año 2100, en función del escenario que se considere.

4 RIESGO DE EROSIÓN COSTERA

4.1 Exposición

4.1.1 Exposición socioeconómica

En el análisis de la erosión costera, se han considerado las playas como los activos expuestos. El valor de exposición de una playa se puede definir a través de criterios ambientales y/o sociales, considerando factores que tengan en cuenta las características, calidad y servicios de cada playa. En concreto en este estudio se ha caracterizado el valor de exposición de las playas por medio de la cuantificación del valor de dos de los servicios principales proporcionados: el valor de protección frente a inundación (de regulación) y el valor recreativo (cultural).

Valor de protección

El valor de protección frente a inundación proporcionado por la playa se ha asimilado a la suma de todos los activos existentes en un polígono delimitado por el borde de la playa, una paralela a ésta situada a 300 metros de la anterior, y las perpendiculares a la línea de costa en los extremos de la playa. El planteamiento propuesto plantea que, si no existiese la playa, todos esos activos situados en la franja de 300 metros se verían de una u otra forma afectados, en un porcentaje (factor de daño) que viene determinado por los factores de la Tabla 6.

Tabla 6. Factor de corrección aplicado según la distancia a la playa

Distancia a la playa (metros)	Factor de daño
0 – 100	0,40
100 – 200	0,15
200 – 300	0,05

El valor de los activos construidos en el entorno de 100 metros alrededor de la playa tiene un valor de 0,9 millones de USD, en la franja entre los 100 y 200 metros de 1,9 millones de USD, y en la zona comprendida entre los 200 y 300 metros cercanos a la playa de 2,8 millones de USD. Estos valores se sitúan en una zona media entre los activos cercanos a las playas de todo el litoral del país.

Considerando el valor de estas edificaciones y los factores de daño descritos anteriormente, se ha estimado un valor total de protección de Playa del Cerro igual a 783.992 USD (273.081 USD por hectárea), lo que sitúa a la playa en el puesto 47 (sobre 212) en el ranking de playas uruguayas en cuanto a su valor de protección.

Valor recreativo

El valor recreativo proporcionado por las playas viene se estima en base a la valoración subjetiva que realizan sus usuarios del tiempo de ocio pasado en ellas. Esta valoración viene a su vez determinada

por el uso que cada uno de los individuos realiza de la playa. Para realizar esta valoración se tiene en consideración la población cercana a la playa, el turismo receptivo en la zona (visitantes, estadía media, gasto, turismo interno), las características de los alojamientos cercanos y las características propias de la playa (tamaño, calidad).

La aplicación de este procedimiento nos permite obtener un valor representativo y único para cada playa, resultando para el caso concreto de Playa del Cerro que el valor recreativo de la misma es de 9.834.609 USD (3.425.604 USD por hectárea). Atendiendo a este resultado, la playa se sitúa en el puesto 87 con respecto al total de las playas uruguayas atendiendo a su valor total recreativo (por debajo del valor medio del país, situado en 20 millones USD), y asciende al puesto número 6 si la clasificación se realiza considerando el valor por hectárea (triplicando la media de las playas de Uruguay, que ronda el millón de USD por hectárea).

En términos generales, se puede concluir que el principal servicio proporcionado por la playa es el de recreación, multiplicando por más de 12 el valor del servicio de protección, y que el valor total de la playa se estima en 10,6 millones de USD, 3,7 millones de USD por hectárea.

4.1.2 Exposición física

Para el modelado de la erosión costera la playa del Cerro se ha considerado un único transecto, donde se ha calculado el transporte transversal.

Se ha definido un ancho potencialmente erosionable de playa igual al ancho de playa seca más la mitad del ancho de dunas en el caso de que no existan construcciones antrópicas que limiten el área potencialmente erosionable. Los rangos de los parámetros morfológicos utilizados en la caracterización física de la playa son los siguientes:

- Orientación respecto al norte: 165°
- Pendiente de la zona de rompientes: 0,017
- Tamaño de sedimento (D50): 0,25 milímetros
- Ancho de playa seca: 22 metros
- Ancho de campo de dunas: 45 metros

4.2 Peligrosidad

En este estudio, la evolución de la línea de costa en la playa del Cerro se ha simulado con un modelo de evolución de la línea de costa basado en transectos que permite predecir los cambios a corto y largo plazo de la posición de la línea de costa producidos por el oleaje, la marea, las corrientes marinas y el ANMM. El modelo acopla un modelo de equilibrio para resolver el transporte transversal y un modelo de una línea para resolver el gradiente de transporte longitudinal. Los modelos de una línea se basan en el principio de conservación del volumen de sedimento entre los transectos que forman la celda litoral; si la cantidad de sedimento entra en la celda litoral supera el caudal sólido saliente (gradiente negativo), la línea de costa progresa hacia el mar, y viceversa. Debido a esto, el modelo de celdas

planteado no permite tener en cuenta la acumulación o falta de sedimento en el sistema de playa, sino el gradiente de transporte longitudinal entre las celdas.

Teniendo en cuenta que la playa del Cerro es una playa encajada entre salientes rocosos, sin evidencias de que existan pérdidas de sedimento por transporte longitudinal, la morfodinámica está condicionada por el transporte transversal en el perfil. No existen fuentes ni sumideros relevantes en la zona de estudio, con lo que el balance sedimentario de la playa es nulo. Es por ello que, atendiendo a las características morfodinámicas de la playa, se ha desactivado el módulo de una línea al considerarse nulo el gradiente del transporte longitudinal.

4.2.1 Retroceso de la línea de costa

A partir de la evolución de la línea de costa obtenida con el modelo de erosión, se han obtenido dos tipos de resultados. Por un lado, se ha estimado el retroceso estructural de la línea de costa, que se ha definido como el retroceso permanente de la playa debido al ANMM, y, por otro, se han obtenido las superficies erosionadas asociadas a diferentes periodos de retorno, en el presente y en el futuro.

En la Figura 22 se representa el retroceso estructural de la línea de costa en 2050 y 2100 por ANMM y la incertidumbre asociada. Se pueden observar las diferencias en el rango de incertidumbre en 2050 y 2100. El retroceso estructural por ANMM en el año 2100 (RCP8.5) alcanza prácticamente la carretera en la zona oeste y las construcciones elevadas de la zona este.

En la Tabla 7 se muestra el retroceso estructural en la playa del Cerro. Se aprecia que el retroceso ligado al ANMM en el año 2050 se encuentra en un intervalo entre 9,02 y 12,09 metros, mientras que en el año 2100 (RCP8.5), la playa se erosionaría de entre 30,72 y 42,26 metros. La anchura promedio de playa erosionable es de 45 metros, con lo que el valor medio de la pérdida de playa en el escenario RCP8.5 en el año 2100 es del 81%.

Tabla 7. Retroceso estructural (m) de la línea de costa debido al ANMM) en la playa del Cerro

Retroceso estructural (metros)	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
	9,02	10,56	12,09	22,33	26,25	30,17	30,72	36,49	42,26

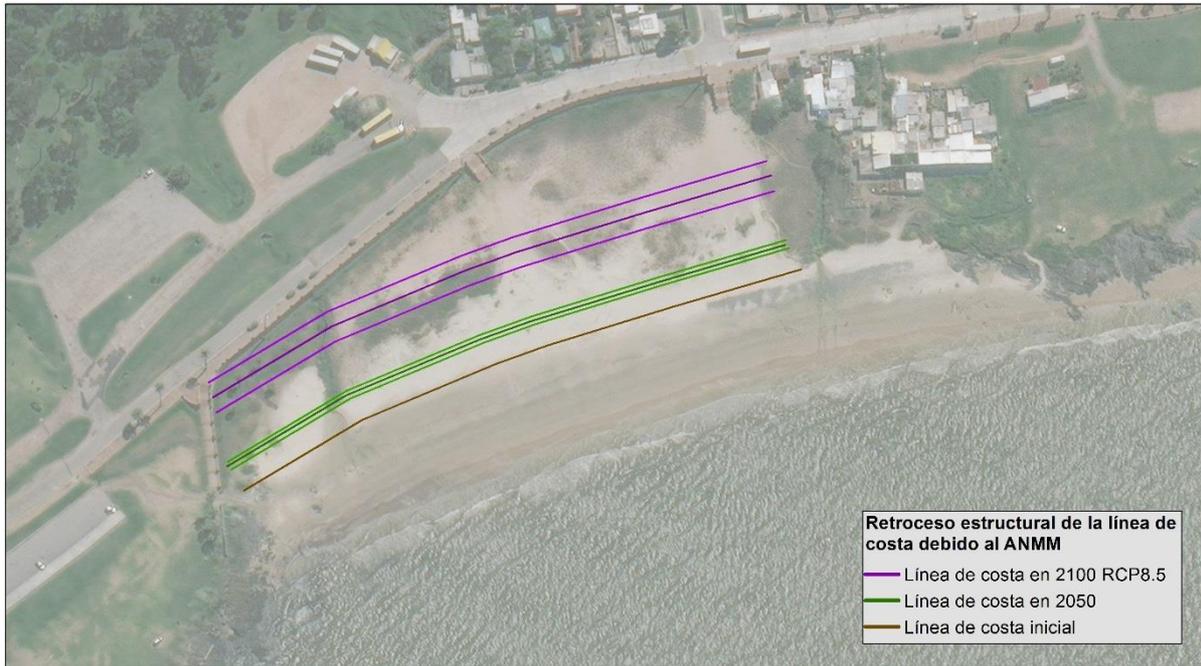


Figura 22. Retroceso estructural de la línea de costa debido al ANMM en 2050 y 2100 en la playa de Ciudad del Plata. La línea marrón representa la línea de costa inicial, la línea verde (2050, RCP promedio) y moradas (2100, RCP8.5) representan la línea de costa en el futuro debido al ANMM.

En la Tabla 8 se recoge la superficie erosionada debido al retroceso estructural de la línea de costa, estimada a partir del retroceso estructural obtenido. En 2050 se espera una pérdida permanente de la superficie de playa entre 1.985 y 2.659 m², mientras que en 2100 puede llegar hasta 9.297 m². Esta superficie erosionada se considera como superficie de playa no recuperable, ya que al estar limitada por la carretera la playa no puede adaptarse a las nuevas condiciones de dinámicas y retrañarse hacia el interior.

Tabla 8. Área de playa erosionada (m²) debido al ANMM en la playa del Cerro.

Área erosionada (m ²)	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
	1.985	2.322	2.659	4.912	5.776	6.638	6.758	8.028	9.297

En la Tabla 9 se recogen los resultados de área erosionada asociada al retroceso de la línea de playa de periodos de retorno 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años en los diferentes horizontes (presente, 2050 RCP medio y 2100 RCPs 4.5 y 8.5). Se aprecia que un evento de erosión de 5 años de periodo de retorno en el presente origina una pérdida del 8% de la superficie de playa, mientras que un evento con la misma probabilidad de ocurrencia en el año 2100 RCP8.5 originaría una pérdida esperada del 43% de la superficie.

Tabla 9. Área erosionada (m²) asociada a distintos periodos de retorno en la playa del Cerro

Área erosionada (m ²)	Presente	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
		P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
Tr=5	1.258	3.026	3.501	3.979	5.107	6.040	6.981	6.000	7.066	8.134
Tr=10	1.626	3.610	4.134	4.665	5.874	6.890	7.911	7.177	8.491	9.790
Tr=25	2.091	4.336	4.922	5.519	6.659	7.738	8.814	8.519	9.790	9.790
Tr=50	2.436	4.867	5.497	6.144	7.132	8.235	9.330	9.419	9.790	9.790
Tr=100	2.779	5.387	6.062	6.758	7.527	8.641	9.742	9.790	9.790	9.790
Tr=500	3.570	6.564	7.339	8.150	8.214	9.322	9.790	9.790	9.790	9.790

4.3 Riesgo

El riesgo de erosión, al igual que se realizaba con el de inundación, se obtiene como la integración de la información de peligrosidad con la exposición y la vulnerabilidad. En este apartado se muestran los resultados cuantitativos de las consecuencias sobre el valor económico de los servicios ecosistémicos de protección y recreativo proporcionado por Playa del Cerro.

Basando el estudio en el valor económico total de los servicios, y en los datos de erosión obtenidos y reflejados en las tablas anteriores, se obtiene que las consecuencias de la erosión que sufrirá la zona de estudio varían en el presente entre los 0,06 y 0,5 millones de USD anuales para eventos extremos de periodos de retorno entre los 5 y los 500 años de periodo de retorno (Tabla 10).

Tabla 10. Consecuencias debidas a eventos extremos de erosión sobre el valor anual de los servicios proporcionados por la playa, expresado en USD anuales dañados.

	Probabilidad	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,002	
	Periodo de retorno	TR=5	TR=10	TR=25	TR=50	TR=100	TR=500	DAE
PRESENTE	Valor medio	60.972	101.868	168.466	228.638	297.436	490.982	32.104
2050	Percent. 5%	352.799	502.050	724.385	912.557	1.118.021	1.659.854	152.449
	Valor medio	472.247	658.348	933.048	1.164.096	1.415.386	2.074.971	199.327
	Percent. 95%	609.970	838.164	1.173.208	1.454.098	1.759.065	2.558.334	253.353
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	1.004.566	1.329.069	1.708.030	1.959.544	2.182.353	2.599.030	384.762
	Valor medio	1.405.142	1.828.886	2.306.316	2.612.429	2.875.972	3.347.422	527.795
	Percent. 95%	1.877.371	2.410.771	2.992.241	3.353.321	3.656.071	3.691.982	692.129
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	1.386.694	1.984.449	2.795.654	3.417.262	3.691.982	3.691.982	577.841
	Valor Medio	1.923.283	2.777.240	3.691.982	3.691.982	3.691.982	3.691.982	761.726
	Percent. 95%	2.548.370	3.691.982	3.691.982	3.691.982	3.691.982	3.691.982	928.669

Estas cantidades se verán incrementadas con los efectos del cambio climático, de tal forma que los 0,06 millones que se experimentan en el presente para eventos de periodo de retorno de 5 años se

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

multiplicarán por más de cuarenta, sobrepasando los 2,5 millones de USD anuales, en el peor de los escenarios posibles, y que los 0,5 millones de un periodo de retorno de 500 años en la actualidad podrán multiplicarse por siete, llegando a superar los 3,6 millones de USD anuales.

Tabla 11 Consecuencias permanentes sobre el valor anual de los servicios proporcionados por la playa, expresado en USD anuales dañados.

Horizonte futuro	ANMM	Consecuencias debido al retroceso estructural (USD)
2050	Percent. 5%	151.766
	Valor medio	207.779
	Percent. 95%	272.318
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	929.367
	Valor medio	1.285.037
	Percent. 95%	1.697.568
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	1.759.230
	Valor medio	2.482.727
	Percent. 95%	3.329.587

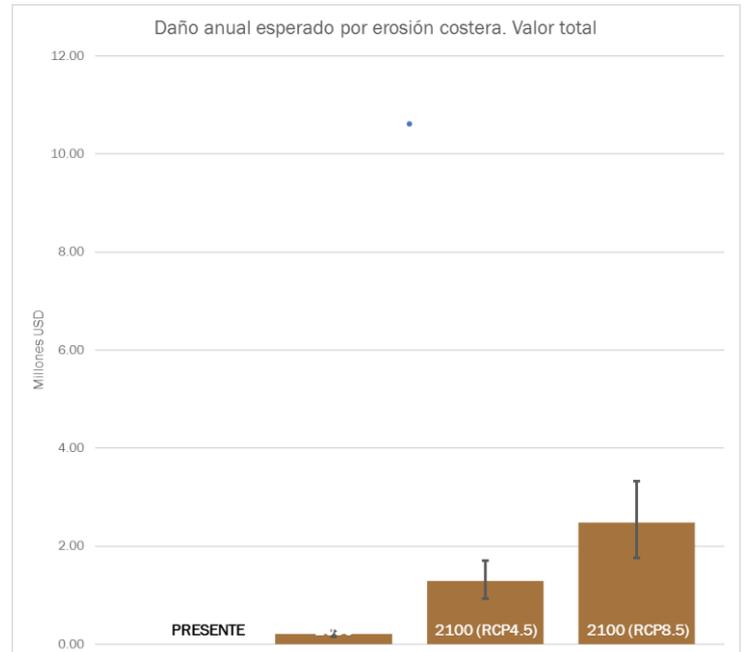
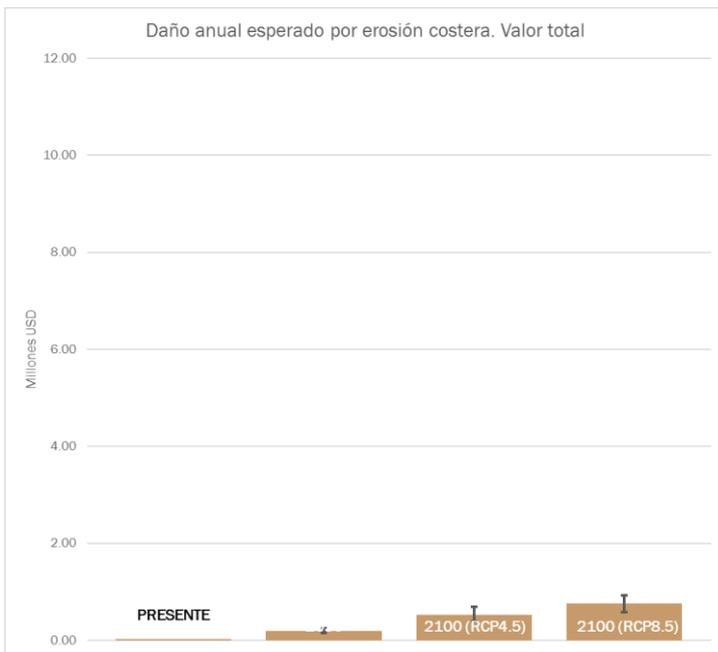


Figura 23. Daño anual esperado por erosión costera sobre el valor total de la playa (obtenido de los servicios de protección y recreativo proporcionados por la playa). La figura de la izquierda representa el daño por eventos extremos de erosión, mientras que la figura de la derecha el daño por el retroceso estructural. En ambos casos, la línea continua representa el valor total de la playa.

El daño anual esperado, actualmente en el entorno de los 32.100 USD anuales, se multiplicará por 6 para el año 2050 (hasta los 200.000 USD anuales) y al menos se multiplicará por 18 para el año 2100 (930.000 USD anuales en el peor de los escenarios).

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. PLAYA DEL CERRO

Además de esta variación en las consecuencias que se experimentarán por los efectos del cambio climático, la erosión estructural que sufrirá Playa del Cerro debido al ANMM (Tabla 11) añadirá un daño extra que rondarán 0,2 millones de USD en 2050 y que variará entre los 0,9 y los 3,3 millones de USD en 2100, por lo que es la aparición de esta erosión estructural la que realmente introduce una componente de riesgo importante, llegando a triplicar en el horizonte de 2100 las consecuencias debidas a eventos extremos en el escenario más desfavorable.

El valor acumulado de estos daños desde el presente hasta el año (2050), se estima en unos 1,51 millones de USD (valor presente de los daños, percentil 50%, con una tasa de descuento del 4%). Este valor está condicionado por la tasa de descuento empleada, y variaría entre los 1,82 millones de USD si la tasa de descuento es del 3% y los 1,27 millones de USD si la tasa a aplicar es del 5% (percentil 50% de los daños).

El valor acumulado desde el presente hasta final de siglo (2100), se estima en 5,28 millones de USD para el escenario RCP4.5, y puede llegar a alcanzar los 1,52 millones de USD en el escenario RCP8.5 (en ambos casos, percentil 50%, tasa de descuento del 4%)

5 CONCLUSIONES

Playa del Cerro es una playa urbana situada en la zona sur del barrio residencial del Cerro, Montevideo. Es una playa pequeña, de aproximadamente 500 metros de longitud, encajada entre salientes rocosos. Aunque es una playa encajada, su forma en planta es prácticamente rectilínea, mostrando una leve curvatura en ambos extremos por el efecto local de difracción-rotura del oleaje en los salientes rocosos. Debido a la ubicación de la playa en la zona exterior del Río de la Plata, en la zona de estudio actúan tanto las dinámicas propias del estuario como las dinámicas costeras.

A partir de la información del riesgo percibido por los agentes locales y del análisis de imágenes históricas de la playa se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- No se observan pérdidas de material por transporte longitudinal, por lo que se puede concluir que la playa está en un aparente equilibrio.
- No existe ningún río ni aporte sedimentario de entidad en la playa.
- El balance neto de sedimentos de la playa es nulo.

El aumento del nivel medio del mar esperado en 2050 en la costa de Uruguay es de 0,26 metros para el RCP promedio, y el aumento del nivel medio del mar esperado en 2100 es de 0,58 metros para el RCP4.5, y de 0,80 metros para el RCP8.5. Se han modelado los impactos de inundación y erosión costera en el presente y en el futuro en Playa del Cerro y la zona urbana adyacente, y se ha cuantificado el riesgo debido al aumento del nivel medio del mar en términos monetarios. De este estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones, que sustentan en la mayor parte las conclusiones anteriores:

- Riesgo de inundación costera

La morfología del terreno de la zona urbana adyacente a Playa del Cerro reduce la exposición de la misma frente al impacto de inundación. En vista de los mapas de inundación, se podría considerar que, en el presente, las únicas zonas en riesgo potencial de inundación serían la parcela urbanizada al sur de la calle Suiza, el varadero y astillero y el Estadio Olímpico. Debido a la morfología del terreno, la extensión de la inundación provocada por eventos de ocurrencia alta y baja no varía significativamente.

En el futuro, se prevé un aumento en la intensidad de los eventos extremos debido al aumento del nivel medio del mar. De esta manera, el riesgo de inundación para eventos con probabilidad alta de ocurrencia en el futuro será equiparable al riesgo de inundación en el presente para eventos con probabilidad muy baja de ocurrencia. La superficie inundada por eventos de periodos de 500 años en el presente se alcanzará entre los eventos de periodo de 100 años y de 50 años en 2050, en 2100 se alcanzará para eventos de periodo de 10 años en el RCP4.5 y para periodos de 5 años en el RCP8.5. Mostrando así también la influencia de la mitigación.

La afección a la población es mínima en la zona de estudio, tanto para la situación presente como para los distintos escenarios futuros. Aunque la exposición es alta (alta densidad de población), la zona potencialmente inundable es limitada debido a la altitud del terreno, por lo que la afección también lo

es. De forma paralela a como ocurre con la población, los daños ocasionados por inundación costera sobre los activos construidos son mínimos, para todos los periodos de retorno y escenarios, tanto en el presente (91.369 USD para un evento con muy baja probabilidad de ocurrencia) como en el futuro (152.863 USD para el mismo evento).

- Riesgo de erosión costera

El principal servicio proporcionado por la playa es el de recreación, multiplicando por más de 12 el valor del servicio de protección, y que el valor total de la playa se estima en 10,6 millones de USD anuales, 3,7 millones de USD anuales por hectárea. Se ha estimado un valor total de protección de Playa del Cerro igual a 783.992 USD anuales (273.081 USD anuales por hectárea), lo que sitúa a la playa en el puesto 47 (sobre 212) en el ranking de playas uruguayas en cuanto a su valor de protección. Se ha estimado un valor recreativo de la misma de 9.834.609 USD anuales (3.425.604 USD anuales por hectárea). Atendiendo a este resultado, la playa se sitúa en el puesto 87 con respecto al total de las playas uruguayas atendiendo a su valor total recreativo (por debajo del valor medio del país, situado en 20 millones USD anuales), y asciende al puesto número 6 si la clasificación se realiza considerando el valor por hectárea (triplicando la media de las playas de Uruguay, que ronda el millón de USD anuales por hectárea).

Se aprecia que el retroceso ligado al ANMM en el año 2050 se encuentra en un intervalo entre 9,02 y 12,09 metros, mientras que en el año 2100 (RCP8.5), la playa se erosionaría de entre 30,72 y 42,26 metros. La anchura promedio de playa erosionable es de 45 metros, con lo que el valor medio de la pérdida de playa en el escenario RCP8.5 en el año 2100 es del 81%.

En 2050 se espera una pérdida permanente de la superficie de playa entre 1.985 y 2.659 m², mientras que en 2100 puede llegar hasta 9.297 m². Esta superficie erosionada se considera como superficie de playa no recuperable, ya que al estar limitada por la carretera la playa no puede adaptarse a las nuevas condiciones de dinámicas y retranquearse hacia el interior.

Estas cantidades se verán incrementadas con los efectos del cambio climático, de tal forma que los 0,06 millones que se experimentan en el presente para eventos de periodo de retorno de 5 años se multiplicarán por más de cuarenta, sobrepasando los 2,5 millones de USD anuales, en el peor de los escenarios posibles, y que los 0,5 millones de un periodo de retorno de 500 años en la actualidad podrán multiplicarse por siete, llegando a superar los 3,6 millones de USD anuales.

El valor acumulado de estos daños desde el presente hasta el año (2050), se estima en unos 1,51 millones de USD (valor presente de los daños, percentil 50%, con una tasa de descuento del 4%). Este valor está condicionado por la tasa de descuento empleada, y variaría entre los 1,82 millones de USD si la tasa de descuento es del 3% y los 1,27 millones de USD si la tasa a aplicar es del 5% (percentil 50% de los daños).

El valor acumulado desde el presente hasta final de siglo (2100), se estima en 5,28 millones de USD para el escenario RCP4.5, y puede llegar a alcanzar los 1,52 millones de USD en el escenario RCP8.5 (en ambos casos, percentil 50%, tasa de descuento del 4%)

6 REFERENCIAS

Boschi, E.E. (1988). El ecosistema estuarial del Río de la Plata (Argentina y Uruguay). Anuario del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Autónoma de México, Vol. 15, pp. 159 – 182.

Fossati, M., Santoro, P., Mosquera, R., Martínez, C., Ghiardo, F., Ezzati, P., Pedocchi, F., Piedra-Cueva, I. (2014). Dinámica de flujo, del campo salino y de los sedimentos finos en el Río de la Plata. Revista Iberoamericana del Agua (1), pp. 48-63.

IHCantabria (2019a). Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D3.1: Atlas de Dinámicas Marinas de Uruguay.

IHCantabria (2019b). Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D3.2: Proyecciones de cambio climático. Oleaje, residuo del nivel del mar y nivel medio del mar en Uruguay.

IHCantabria (2019c). Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D4.1: Informe técnico sobre los resultados del proyecto. Escala nacional.

IHCantabria (2019d). Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D4.2: Informe técnico sobre la metodología aplicada en el proyecto. Escala nacional.

IHCantabria (2019e). Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D4.4: Informe técnico sobre la metodología aplicada en el proyecto. Escala piloto.

Jamieson, S.R., Lhomme, J., Wright, G., Gouldby, B. (2012). Highly efficient 2D inundation modelling with enhanced diffusion-wave and sub-element topography. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, 165 (10), pp. 581-595.