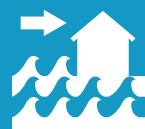
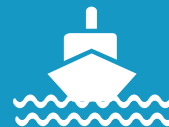


NAP Costas

Plan Nacional de
Adaptación Costera
de Uruguay

Documento preparatorio

Casos piloto. Atlántida (Canelones)





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. ATLÁNTIDA (CANELONES)

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: Atlántida. Departamento de Canelones. Fuente: Marcelo Campi, bajo licencia CC BY-SA 2.0.

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.....	14
3 Riesgo de inundación costera.....	15
3.1 Exposición.....	15
3.1.1 Exposición socioeconómica	15
3.1.2 Exposición física.....	18
3.2 Peligrosidad	19
3.2.1 Mapas de inundación	19
3.3 Riesgo	23
4 Riesgo de erosión costera	25
4.1 Exposición.....	25
4.1.1 Exposición socioeconómica	25
4.1.2 Exposición física.....	26
4.2 Peligrosidad	27
4.2.1 Retroceso de la línea de costa.....	29
4.3 Riesgo	32
5 Conclusiones.....	35
6 Referencias.....	37

RESUMEN EJECUTIVO

DESCRIPCIÓN

- La zona de estudio de Atlántida agrupa una serie de playas urbanas ubicadas en la ciudad de mismo nombre en el Departamento de Canelones. En concreto se analizan (de oeste a este) las playas Mansa, Brava, Pinares, de las Toscas, Parque del Plata y Barra del Solís.
- La zona de estudio tiene aproximadamente 6.500 metros de longitud, predominando una playa de forma rectilínea gobernada por la dirección del flujo medio del oleaje en la zona.
- Las imágenes más recientes de la playa muestran escarpes y erosiones en el pie de la duna que se extiende a lo largo de la playa, lo que indica que los temporales alcanzan y erosionan en la actualidad las dunas primarias de la playa.
- Es una playa abierta, sin confinamientos en los extremos desde el punto de vista de los sedimentos.
- No obstante, la desembocadura del arroyo Solís Chico supone un confinamiento parcial al transporte de arena. La forma de la flecha indica que el sentido medio anual del transporte de sedimentos en la unidad fisiográfica es de este a oeste.

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:

- Una serie de elementos que condicionan la actual estabilidad de la playa de la Atlántida es la existencia de numerosos espigones transversales ubicados a lo largo de toda la playa de la Floresta. La longitud de estos espigones no evita el traspaso de arena, pero sí lo reduce.
- En la playa situada al oeste de la zona de estudio (Playa Águilas) hay ausencia de playa seca, a pesar de los múltiples espigones allí construidos, lo que señala un déficit de aporte de sedimentos.

DINÁMICAS ACTUALES

- La zona de estudio se localiza en la zona externa del estuario 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.
- La costa de Atlántida tiene una forma en planta prácticamente rectilínea gobernada por la dirección del flujo medio de energía del oleaje (112,5 - 157,5°).
- La altura de ola asociada al percentil 50% es de 1 metro, y la altura de ola asociada al percentil 95% es igual a 2,7 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 medio del nivel medio del mar esperado en 2100 en la costa de Uruguay es de 0,80 metros para el peor escenario (RCP8.5).
- La magnitud de los cambios debido al aumento de nivel medio del mar en 2100 en los parámetros del oleaje y del residuo del nivel del mar 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°. Los cambios en el residuo del nivel del mar son del orden de 0,01-0,015 m.

INUNDACIÓN

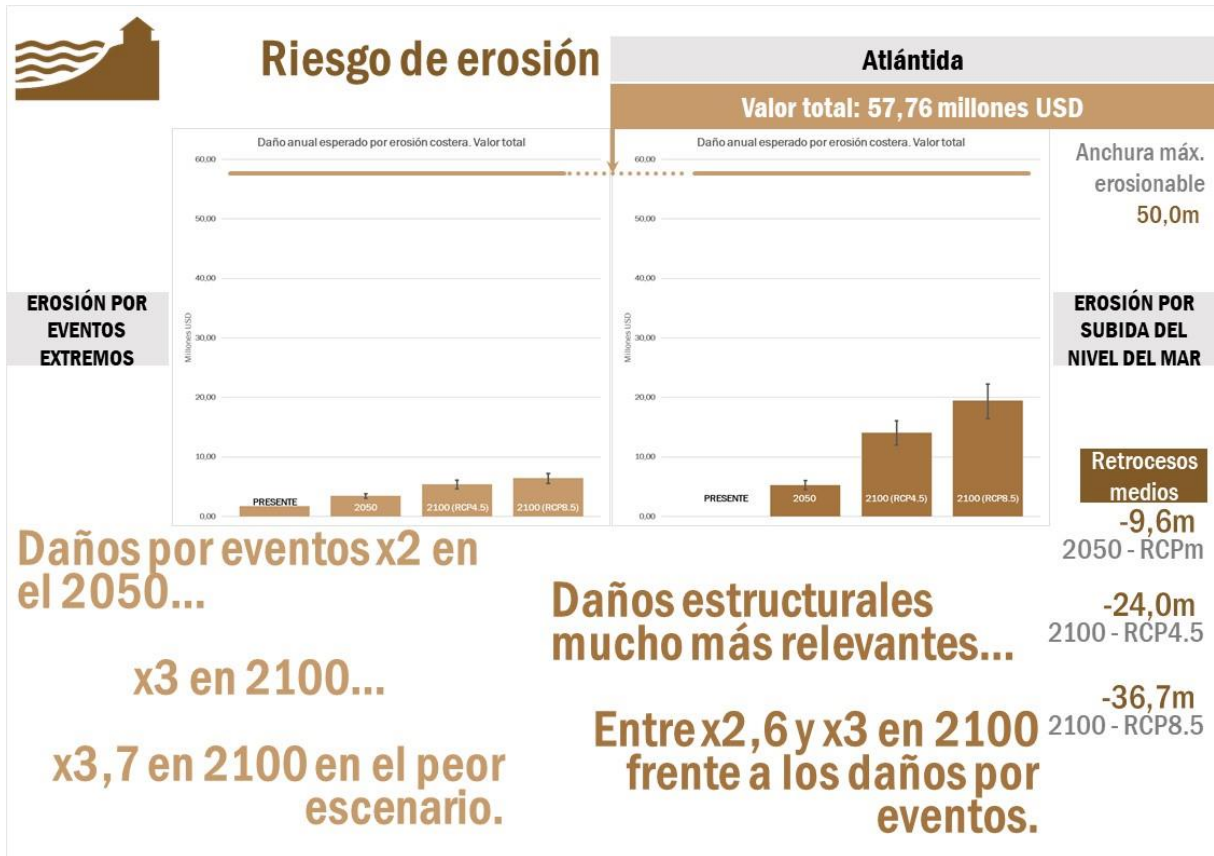
Del análisis de riesgo por inundación costera se concluye:

- En el caso de la zona de estudio de Atlántida, y a la vista de los resultados de peligrosidad obtenidos y mostrados, se aprecia que no existe una inundación por eventos costeros que implique personas afectadas ni daños sobre activos construidos.
- En ninguno de los escenarios considerados, tanto en el presente como en el futuro, aparece inundación que llegue hasta las zonas en las que existe exposición. El riesgo de inundación por eventos costeros de la zona de estudio es nulo en el presente y no va a experimentar cambio alguno en el futuro.
- Esta conclusión no implica que no puedan producirse inundaciones en la zona (como las que ya se han experimentado en el pasado), pero serán debidas a otros fenómenos distintos de los costeros. Mención aparte serán los cambios en la exposición y/o vulnerabilidad de la zona, en cuyo caso pueden esperarse cambios en la situación descrita.

EROSIÓN

Del análisis de riesgo por erosión costera:

- El principal servicio proporcionado por la playa es el de recreación, multiplicando por más de 5 el valor del servicio de protección.
- El valor total de la playa se estima en más de 57,7 millones de USD anuales, 0,97 millones de USD anuales por hectárea.
- Mientras que, en el presente, un evento usual de 5 años de periodo de retorno origina erosiones del 8% de la superficie de playa; el mismo evento en el año 2100 RCP8.5 originaría un valor esperado de pérdida de un tercio de la superficie de la playa.
- Además, se estima que el retroceso estructural de la línea de costa provocará la pérdida permanente de entre 8,2 y 11,1 metros de anchura de playa en 2050, y de hasta 39,1 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 Atlántida, uno de los casos piloto considerados para la Intendencia de Canelones a propuesta de los departamentos competentes en la gestión de playas.

En los talleres anteriormente mencionados, los agentes locales participantes destacaron los siguientes aspectos como característicos de la problemática de Playa Atlántida:

- Zona muy poblada que vive eminentemente del turismo regional y nacional, una zona de gran importancia por su incidencia económica y social.
- Los bordes costeros son los más poblados y la tendencia es a ser cada vez más ocupada.
- Las mayores amenazas identificadas provienen de la mayor frecuencia de eventos extremos asociados a viento y lluvias.
- En general, tienen problemas con falta de arena y un nivel freático muy alto por lo que las llaman playas húmedas.
- Entre las intervenciones realizadas se incluye:
 - la construcción de espigones en los años 70 para captar arenas,
 - drenes en otras playas con nivel freático alto que llevan al agua a una escollera (Playa Mansa),
 - bombas instaladas que no funcionan,
 - cercas captoras de arena en dunas que depositan la arena recogida en el arroyo a la altura del puente de Seregni
 - accesos elevados a la playa para proteger las dunas, en las cuales la altura máxima es de 8 m en parque del Plata.
- Se da también erosión en las barrancas por efectos pluviales, con retrocesos de hasta 60 cm/año medidos en la zona del Águila.

1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PILOTO

1.1 Descripción general

La zona de estudio de Atlántida agrupa una serie de playas urbanas ubicadas en la ciudad de mismo nombre en el Departamento de Canelones. En concreto se analizan (de oeste a este) las playas Mansa, Brava, Pinares, de las Toscas y Parque del Plata. La zona de estudio tiene aproximadamente 6.500 metros de longitud, predominando una playa de forma rectilínea gobernada por la dirección del flujo medio del oleaje en la zona.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Atlántida, Canelones).

Principales elementos morfológicos

Es una playa abierta, sin confinamientos en los extremos desde el punto de vista de los sedimentos. No obstante, tal y como se puede ver en la imagen siguiente (Figura 3), la desembocadura del Arroyo Solís Chico supone un confinamiento parcial al transporte de arena, que en la zona predomina de este a oeste, como pone de manifiesto la flecha de la citada desembocadura.

En la imagen también se aprecian escarpes y erosiones en el pie de la duna que se extiende a lo largo de la playa, lo que indica que los temporales alcanzan y erosionan en la actualidad las dunas primarias de la playa.

Aunque no están ubicados en la playa de la Atlántida, sino en la playa situada al este de la misma, frente al barrio de La Floresta, una serie de elementos que condicionan la actual estabilidad de la playa de la Atlántida es la existencia de numerosos espigones transversales ubicados a lo largo de toda la playa de la Floresta (Figura 2). La longitud de estos espigones no evita el traspaso de arena, pero sí lo

reduce. La mayor anchura de playa seca en el lado este de los espigones ratifica la existencia de este transporte de este a oeste.

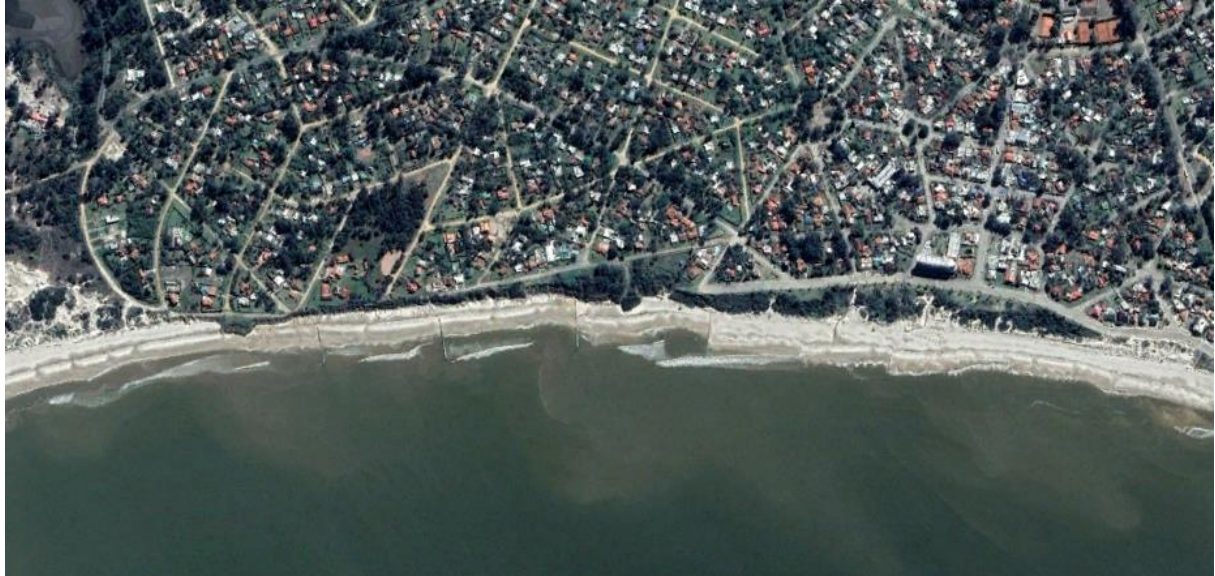


Figura 2. Espigones ubicados en la zona de playa de la Floresta, al este de la desembocadura de Arroyo Solís Chico.

En la playa situada al oeste de la zona de estudio (Playa Águilas) hay ausencia de playa seca, a pesar de los múltiples espigones allí construidos, lo que señala un déficit de aporte de sedimentos.

Fuentes y sumideros de sedimento

Las playas de Atlántida tienen tres potenciales fuentes de sedimento: el Arroyo Solís Chico, la arena procedente de las playas ubicadas al este y los aportes locales. No se tiene información sobre la magnitud de los aportes del arroyo y su evolución en los últimos años por lo que a efectos de este informe preliminar se supondrá que no ha habido variación. No obstante, el crecimiento durante los últimos años de las acumulaciones de material arenoso que se observan en las imágenes de satélite en el entorno del puente de la autopista parece indicar que el río tiene en la actualidad una menor capacidad de limpieza y está actuando como sumidero de arena.

Lo que si hay evidencia es de una reducción del material que llega a las playas de la zona este. Esta reducción tiene, al menos, dos causas. Por un lado está la reducción de transporte originada en los espigones anteriormente citados y, por otro, la acumulación de arena en la flecha.

Evolución histórica

Comparando la situación de la playa en 2019 (Figura 3) con la situación de la playa en 2006 (Figura 4) se puede observar la acumulación de arena en la flecha. En base a las imágenes de satélite se ha estimado un volumen de transporte longitudinal de sedimento. Como se puede observar en las imágenes, la flecha de la desembocadura de Arroyo Solís Chico ha crecido aproximadamente 825 metros en 13 años, con una anchura media de 90 metros. Asumiendo una profundidad de cierre de 5 metros y una berma de 1,4 metros, se ha estimado un volumen de arena acumulado en la flecha en

13 años igual a 475.200 m^3 . Esto supone una tasa anual de transporte longitudinal en la zona de $36.553 \text{ m}^3/\text{año}$ con sentido de este a oeste.

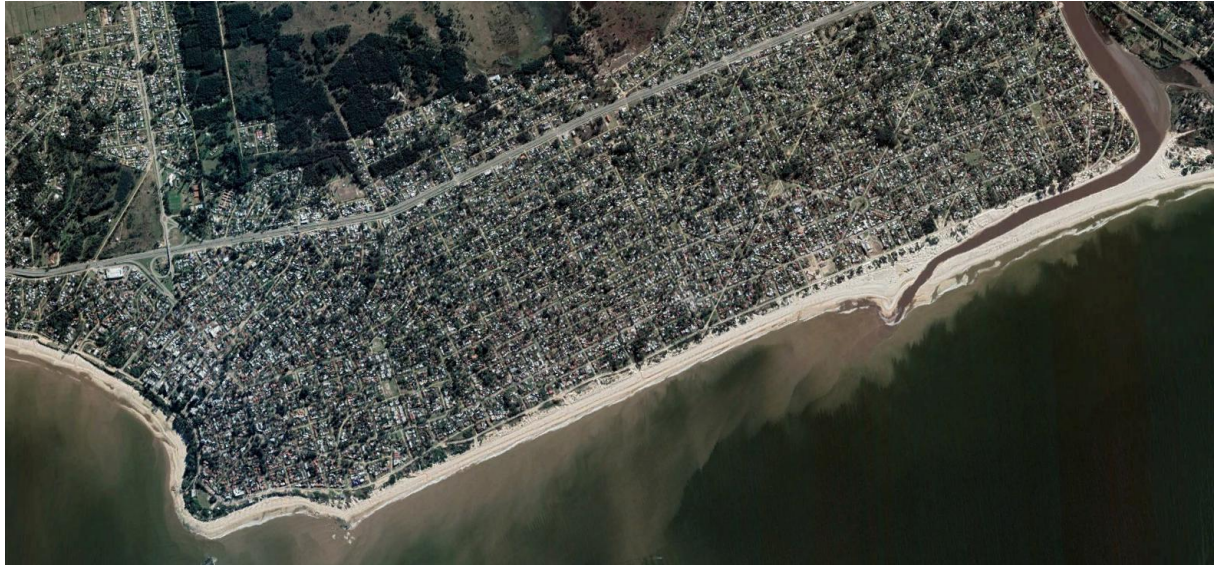


Figura 3. Situación de las playas de Atlántida en 2019 (Fuente: Google Earth).

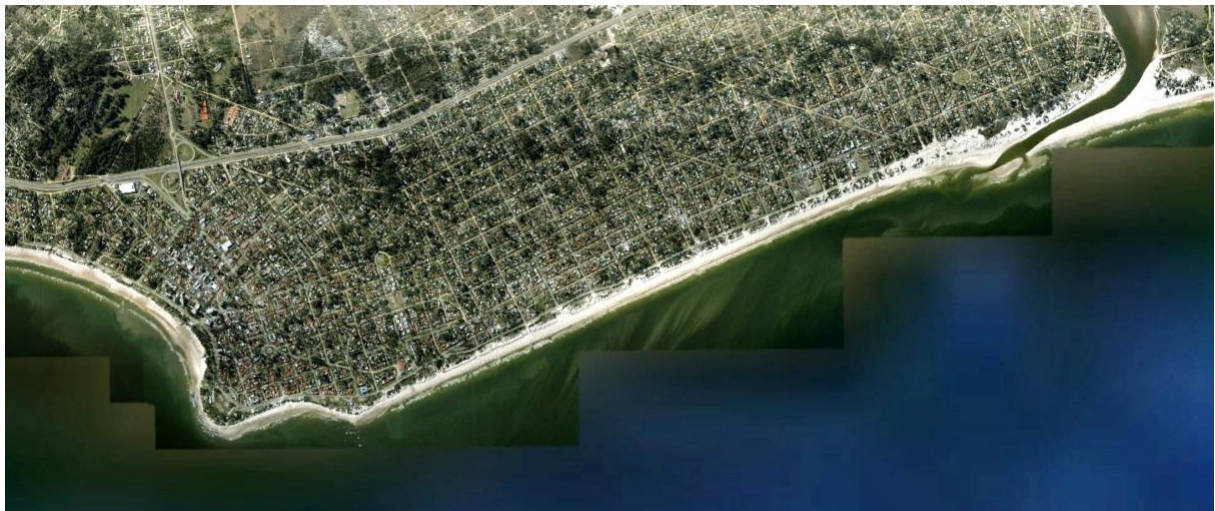


Figura 4. Situación de las playas de Atlántida en 2006 (Fuente: Google Earth).

Diagnóstico inicial

Un diagnóstico inicial conduce a concluir que la continuidad del transporte de sedimento en la unidad fisiográfica de las playas de Atlántida está limitada por la construcción de espigones en ambos extremos de la playa, por la acumulación de arena en la flecha de la desembocadura, las obras de viales y la canalización de pluviales. El balance neto de sedimentos en la playa es, por tanto, negativo. Se detecta falta de playa en la zona oeste, erosión en el pie de las dunas y nivel freático alto.

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. La zona costera de la Atlántida (Canelones) se localiza en la zona externa del estuario Río de la Plata (Figura 5), 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 5. 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 7, Figura 8 y Figura 9) del Atlas Climático generado dentro del proyecto (IHCantabria, 2019a). Se ha escogido el punto más cercano a Atlántida (punto 32, Figura 6). La profundidad en este punto es de aproximadamente 10 metros.

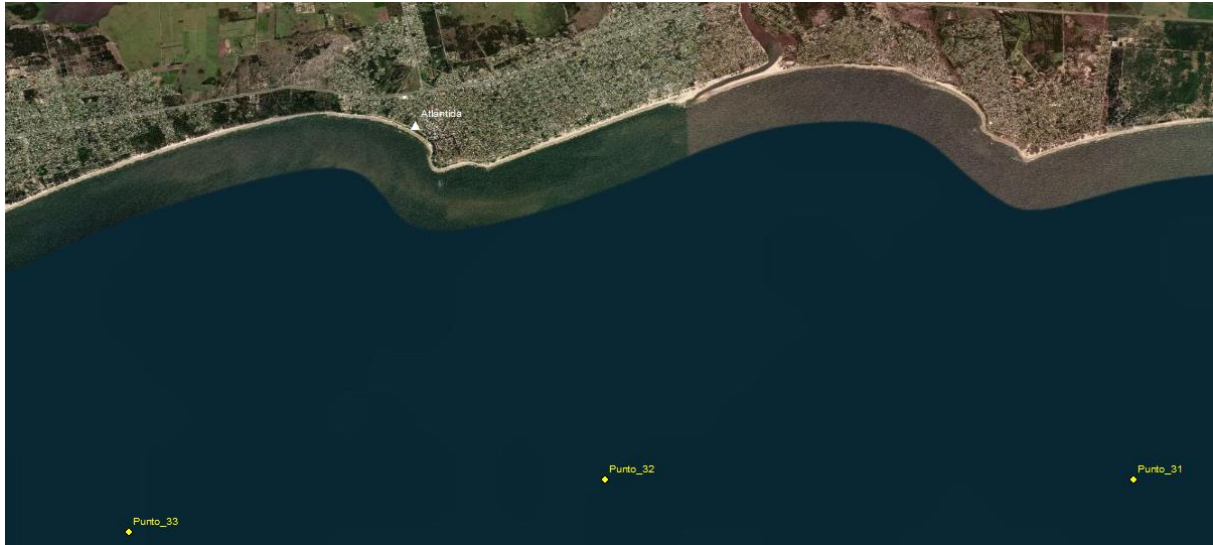


Figura 6. Localización del punto del Atlas más cercano a Atlántida.

Como se comentaba anteriormente, la costa de Atlántida tiene la forma rectilínea gobernada por la dirección del flujo medio de energía del oleaje en la zona. Los oleajes más frecuentes y energéticos son los que provienen del sector direccional $112,5^{\circ}$ - $157,5^{\circ}$ (Figura 7). La altura de ola asociada al percentil 50% es de 1 metro, y la altura de ola asociada al percentil 95% es igual a 2,7 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.

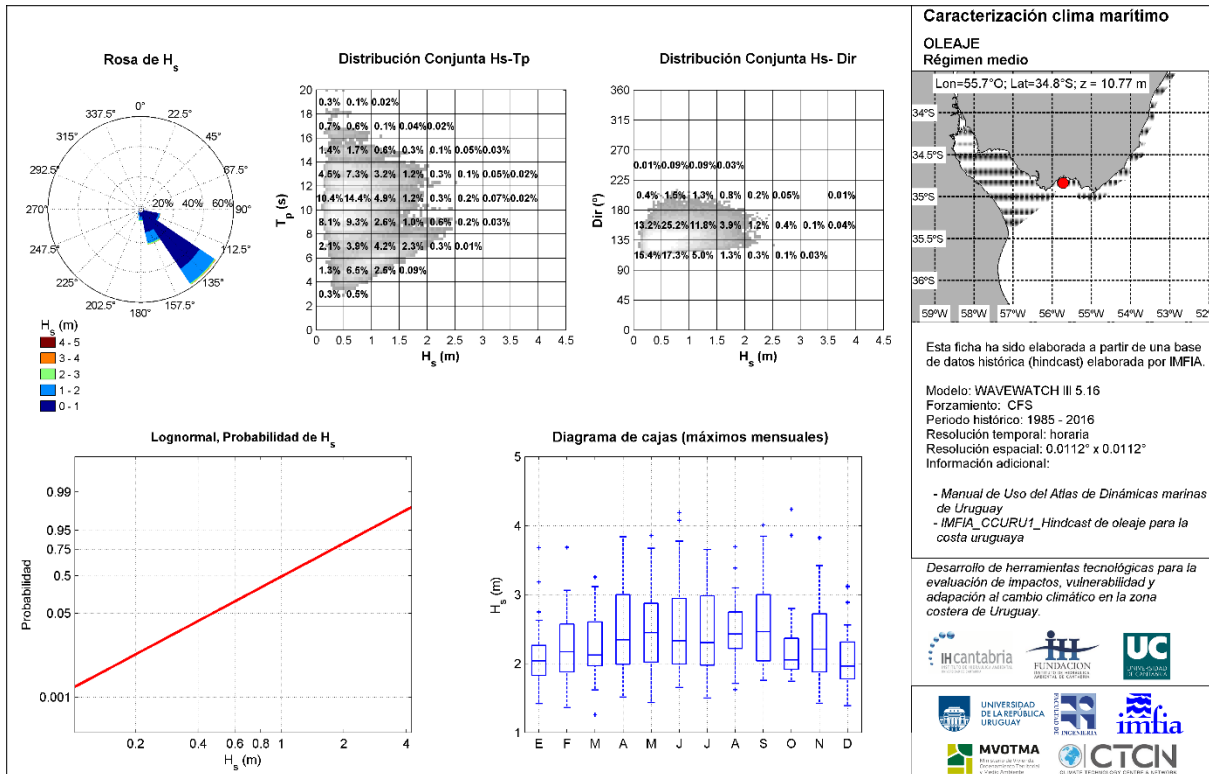


Figura 7. Caracterización del régimen medio de oleaje en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

En la Figura 8 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 24 centímetros.

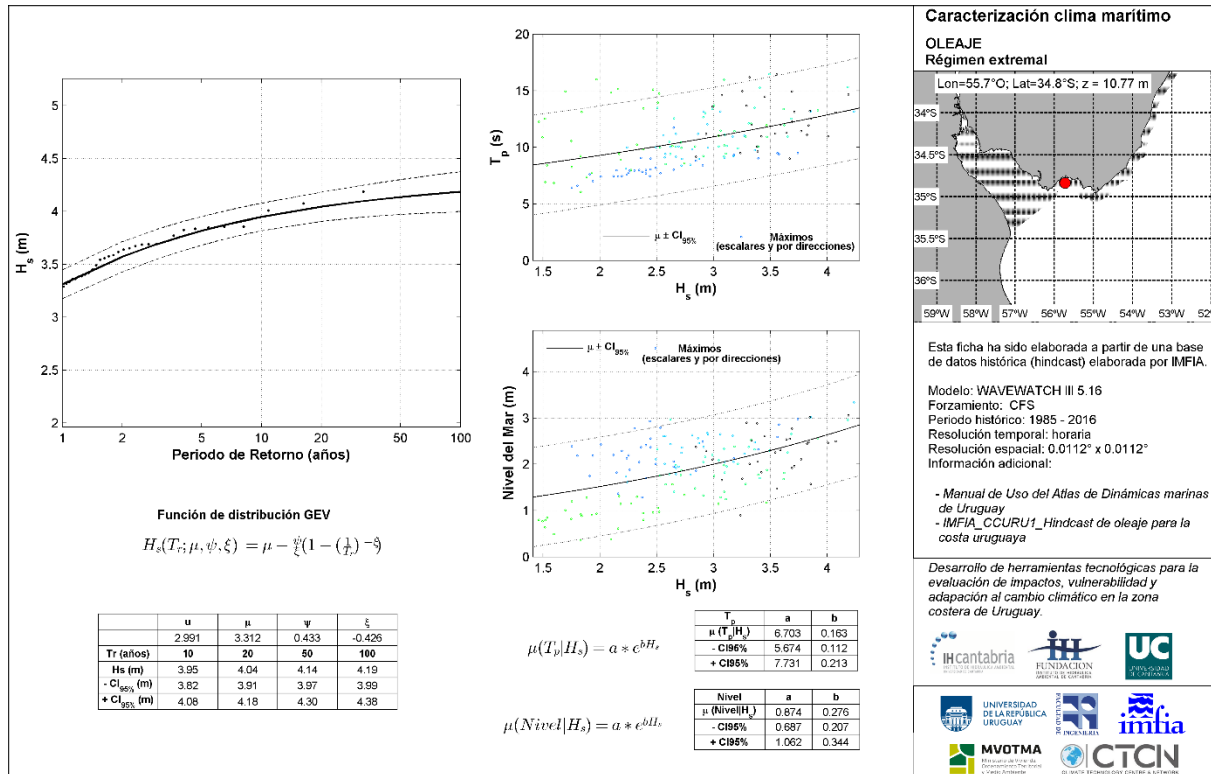


Figura 8. Caracterización del régimen extremal de oleaje en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

En la tercera ficha (Figura 9) 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 [247,5° - 292,5°] y [67,5° - 112,5°]. Las corrientes provenientes del oeste tienen una intensidad de hasta 0,24 m/s, con intensidades máximas de hasta 0,71 m/s, mientras que las corrientes del este tienen una intensidad de hasta 0,24 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 36 centímetros, 12 centímetros mayor que la diferencia entre las alturas de ola asociadas a los mismos periodos de retorno (24 centímetros).

Teniendo en cuenta que la contribución del oleaje en la sobre elevación 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.

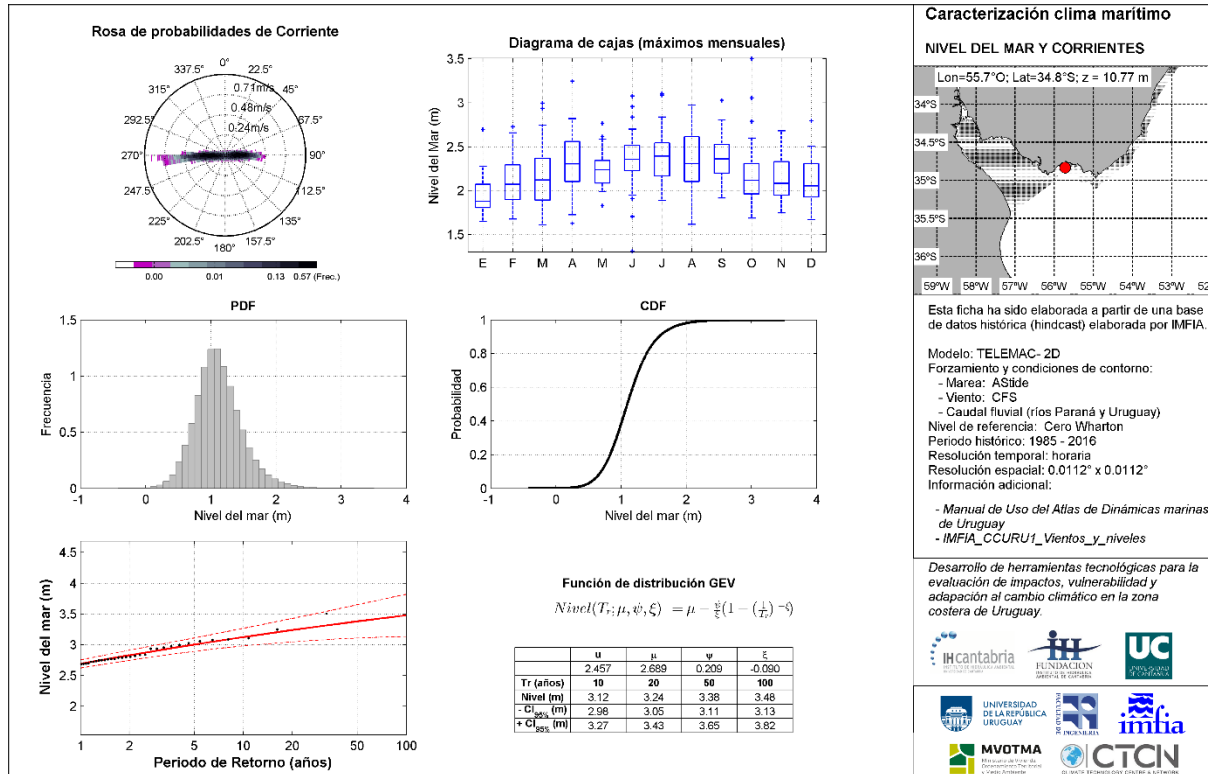


Figura 9. Caracterización del nivel del mar y corrientes en la zona de estudio (IHCantabria, 2019a).

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 significante 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, de 0,58 [0,48 – 0,67] en 2100 RCP4.5 y de 0,80 [0,66 – 0,93] metros en 2100 RCP8.5.

En términos generales, 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 10 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.

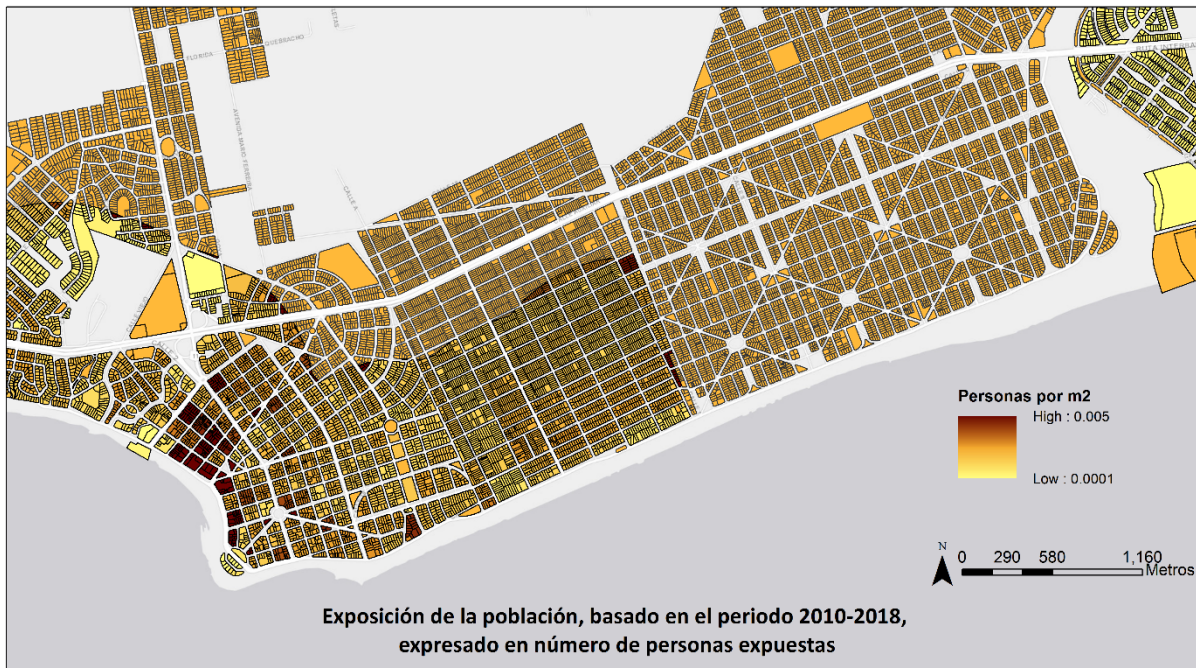


Figura 10. Mapa de exposición de la población, basado en el periodo 2010-2018, expresado en número de personas expuestas por m².

En la Figura 9 se puede observar que según los datos del Censo la zona más densamente poblada es la más próxima al extremo oeste de la zona de estudio (alrededores de Plaza Mansa), donde existen algunas edificaciones que tienen varias alturas. Por el contrario, la zona oeste (Playa Las Toscas, Playa Parque del Plata), presenta una densidad de población sensiblemente menor, correspondiente con las edificaciones existentes, principalmente residenciales y de una única planta.



Figura 11. Edificaciones existentes en la Playa Parque del Plata (Fuente: Google Earth).

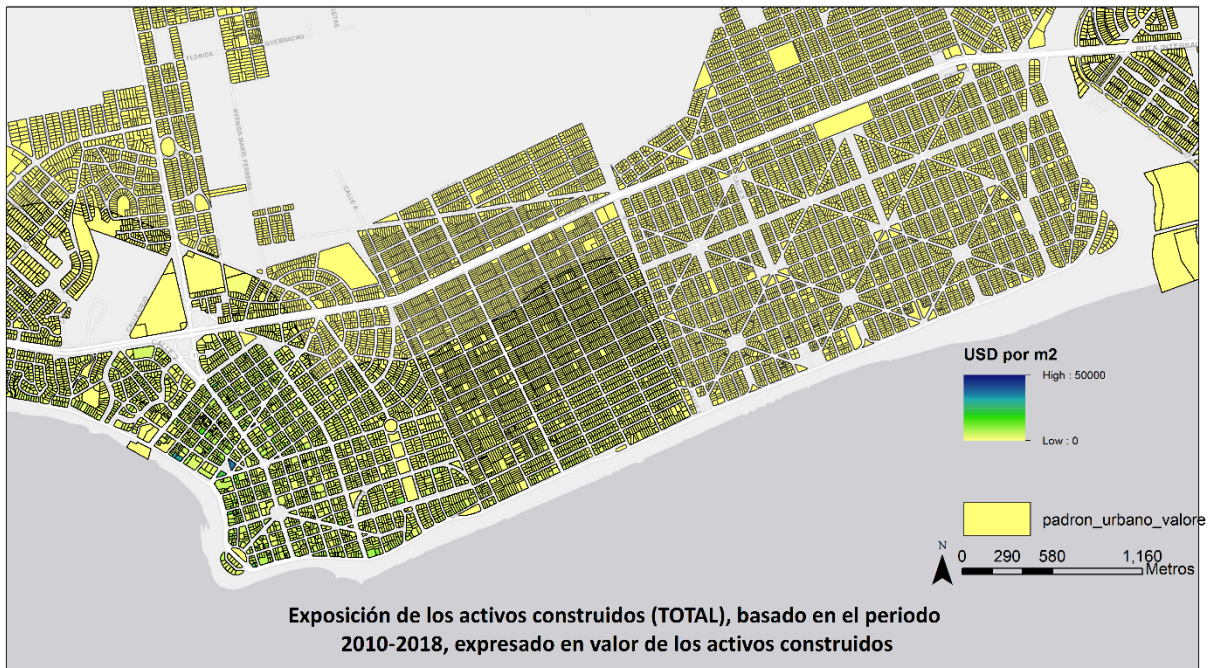


Figura 12. Mapa del valor de exposición del stock construido (total), basado en el periodo 2010-2018, expresado en número de USD por m².

En la Figura 12 por otro lado se observa que el valor (obtenido de datos catastrales oficiales) de las edificaciones incluidas en la zona de estudio es bastante homogéneo, y no entra dentro de los valores más elevados comparados con el análisis del resto del país. Destacan algunas parcelas por encima de la media en la zona de Playa Mansa, coincidentes precisamente con aquellas edificaciones que

presentan más alturas. En la Figura 13 se recoge un ejemplo de la edificación en altura existente en la zona más próxima a Playa Mansa.



Figura 13. Ejemplo de edificación existente en la zona de Playa Mansa (Fuente: Google).

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 14 se muestra el MDT de las zonas costeras de baja altitud de Atlántida. Como se puede observar, las zonas urbanizadas se encuentran a cotas por encima de los 10 m. Las zonas cercanas a la desembocadura del arroyo Solís Chico tienen cotas entre 0 y 4 metros en la zona más cercana al mismo (terreno sombreado en verde en la Figura 14), y entre 4 y 8 metros en los barrios adyacentes al arroyo hasta Barrio el Embalse y Barrio Centro en la zona más interior (terreno sombreado en naranja y marrón).

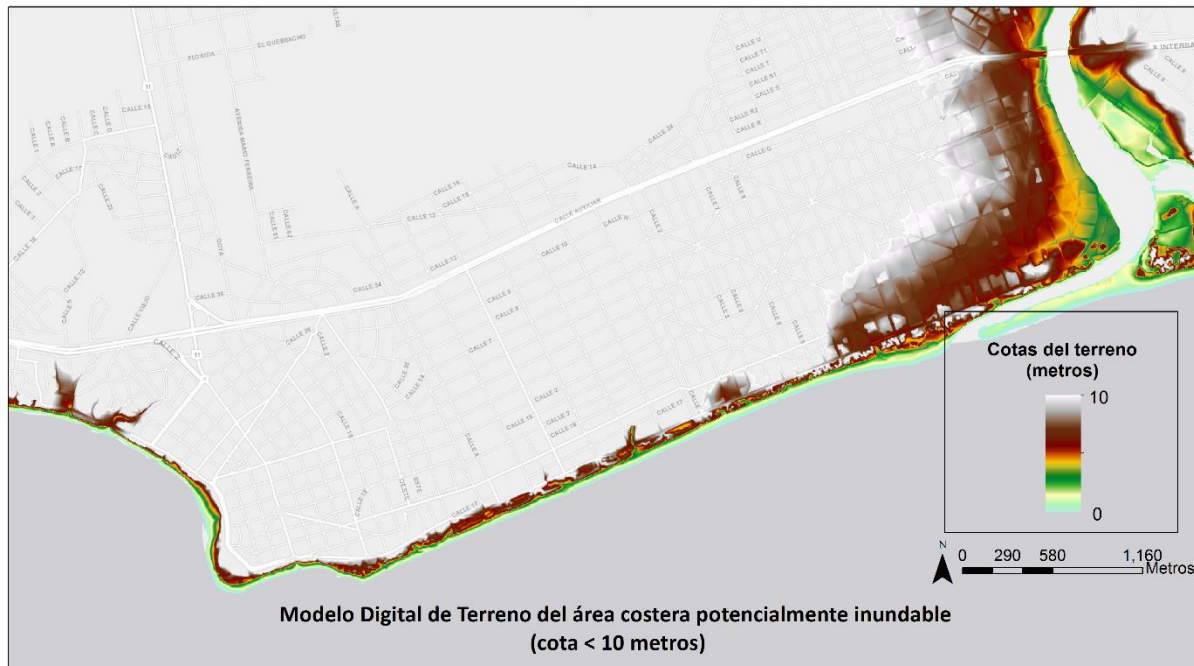


Figura 14. Modelo Digital de Terreno del área potencialmente inundable de la zona de estudio (Fuente: IMFIA).

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 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18) se pueden identificar las zonas susceptibles de inundación, en el presente y en el futuro, para distintos niveles de amenaza: probabilidad de ocurrencia alta ($Tr= 5$ 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 **cualquiera de los casos** presentados (Figura 15 a Figura 18), se puede observar que la inundación no llega a sobrepasar la línea de costa. Se dan inundaciones en la misma para eventos de ocurrencia alta de 5 años y condiciones medias.

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. ATLÁNTIDA

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	12.912	33.584	39.328	45.408	64.608	75.104	86.000	84.880	99.584	114.416
Tr=5	266.928	288.256	292.752	297.888	312.944	319.904	327.056	326.416	334.768	342.672
Tr=10	282.816	302.816	307.296	311.344	324.144	330.512	336.640	335.904	343.376	349.968
Tr=25	299.856	317.232	320.880	324.608	335.504	340.688	345.696	345.344	352.064	358.688
Tr=50	310.272	325.808	328.896	331.920	341.936	346.624	351.648	351.088	357.872	365.104
Tr=100	318.576	332.928	335.904	338.576	347.088	352.064	357.216	356.624	363.920	370.384
Tr=500	333.728	344.704	347.184	349.728	358.592	363.952	368.832	368.432	375.152	382.176

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. ATLÁNTIDA



Figura 15. Inundación en el presente para distintos eventos

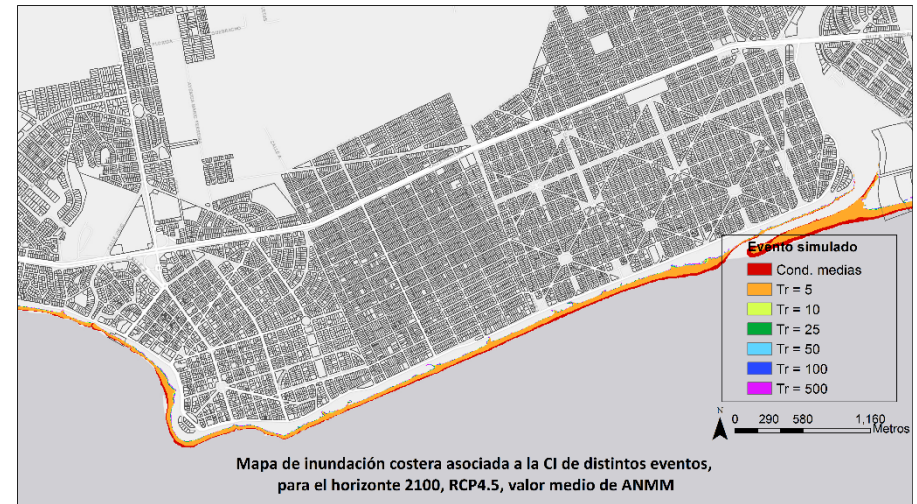


Figura 17. Inundación en 2100 (RCP4.5) para distintos eventos

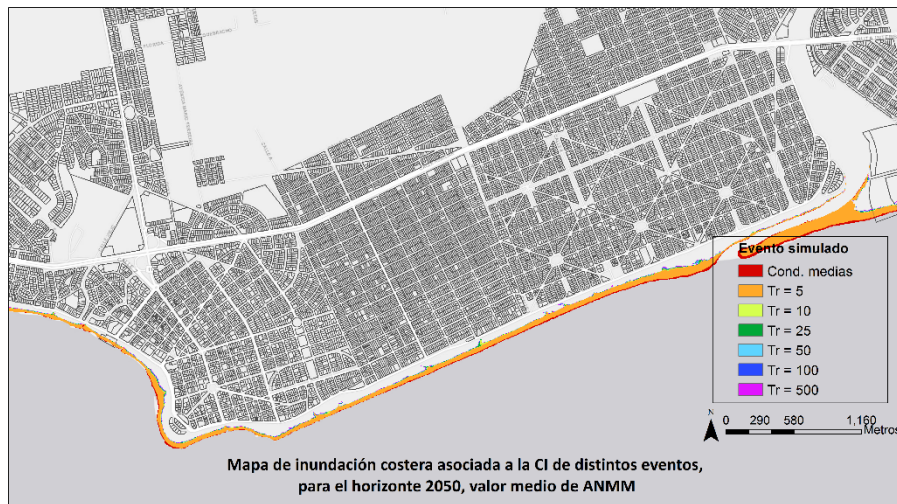


Figura 16. Inundación en 2050 para distintos eventos

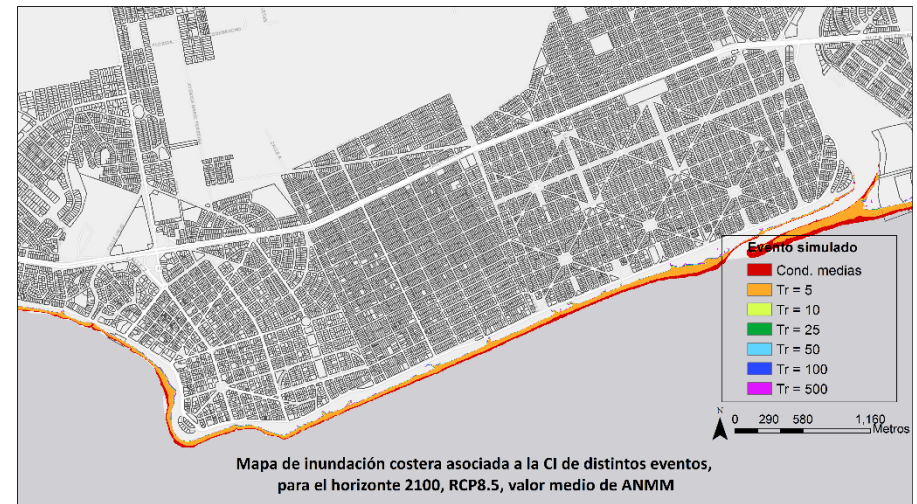


Figura 18. Inundación en 2100 (RCP8.5) para distintos eventos

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 19) y 2100 RCP8.5 (Figura 20).

En el mapa de inundación en 2050 (Figura 19) las diferencias entre la inundación producida con el ANMM medio y el percentil 5% y 95% son de 2.976 m² y 2.672 m², respectivamente. En 2100 (Figura 20), la diferencia de ANMM entre los tres valores considerados es de aproximadamente 14 centímetros, y la diferencia en la superficie inundada del valor medio y los percentiles es de 7.296 m² y 6.464 m², respectivamente. La Tabla 2 recoge las diferencias entre las diferentes simulaciones realizadas.



Figura 19. Análisis de la incertidumbre asociada al aumento del nivel medio del mar en 2050.

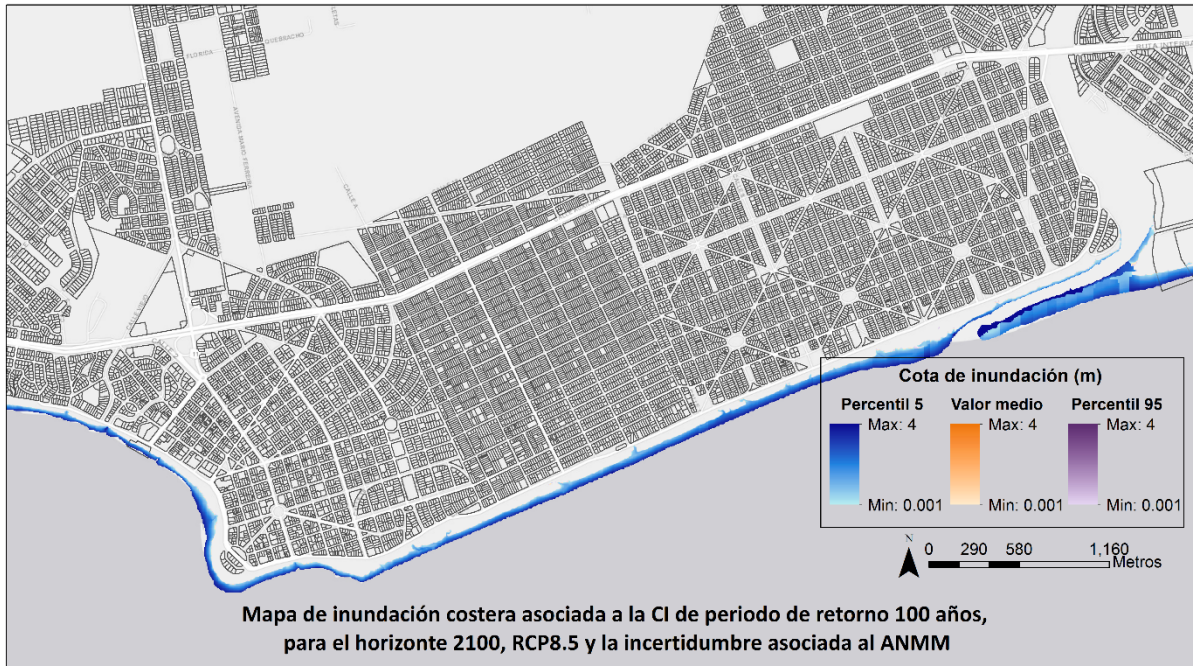


Figura 20. Análisis de la incertidumbre asociada al aumento del nivel medio del mar en 2100 (RCP8.5).

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 (m²)	332.928	335.904	338.576	356.624	363.920	370.384
Cota máx (m)	5,76	5,89	6,01	6,94	7,29	7,64

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.

En el caso de la zona de estudio de Atlántida, y a la vista de los resultados de peligrosidad obtenidos y mostrados, se aprecia que no existe una inundación por eventos costeros que implique personas afectadas ni daños sobre activos construidos.

En ninguno de los escenarios considerados, tanto en el presente como en el futuro, aparece inundación que llegue hasta las zonas en las que existe exposición. Se concluye por tanto que, en este caso, el

riesgo de inundación por eventos costeros de la zona de estudio es nulo en el presente y no va a experimentar cambio alguno en el futuro.

Esta conclusión no implica que no puedan producirse inundaciones en la zona (como las que ya se han experimentado en el pasado), pero serán debidas a otros fenómenos distintos de los procesos meteocéánicos considerados en este estudio (p.ej., precipitaciones extremas acompañadas de carencias o mal funcionamiento de sistemas de drenaje).

De igual forma, no puede concluirse que en el futuro no se produzcan inundaciones costeras si aumenta la exposición de la zona o se producen cambios en la vulnerabilidad de los activos expuestos.

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 3.

Tabla 3. 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 11,4 millones de USD, en la franja entre los 100 y 200 metros de 23,6 millones de USD, y en la zona comprendida entre los 200 y 300 metros cercanos a la playa de 22 millones de USD.

Considerando el valor de estas edificaciones y los factores de daño descritos anteriormente, se ha estimado un valor total de protección de las playas en la zona de estudio de Atlántida es igual a 9.210.000 USD anuales (200.000 USD anuales por hectárea), lo que sitúa a la playa en el puesto 30 (sobre 212) en el ranking de playas uruguayas en cuanto a su valor de protección (en cuanto a valor agregado y puesto 28 en valor por hectárea).

Su valor de protección se encuentra muy por encima de la media del país, situada en los 4 millones de USD anuales, mientras que su valor por hectárea está por debajo del valor medio de las playas de Uruguay (890.000 USD anuales/ha).

Es necesario añadir que esta estimación del valor de protección es en todo caso una cota inferior. En el caso concreto de la zona de estudio de Atlántida, las playas comprendidas protegen una infraestructura de transporte que sería la primera que sufriría importantes daños en caso de pérdida de la playa. La cuantificación de estas infraestructuras no se ha realizado (no sólo hablaríamos de valor constructivo, sino de todo el servicio de transporte y movilidad), pero sin duda incrementaría el valor de protección proporcionado por la playa.

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 las playas de Atlántida que el valor recreativo de las mismas es de 48,6 millones de USD anuales (850.000 USD anuales por hectárea). Atendiendo a este resultado, la playa se sitúa en el puesto 62 con respecto al total de las playas uruguayas atendiendo a su valor total recreativo (doblando el valor medio del país, situado en 20 millones USD anuales), pero desciende hasta el puesto número 70 si la clasificación se realiza considerando el valor por hectárea (por debajo de la media de las playas de Uruguay, que ronda el millón de USD anual por hectárea).

En términos generales, se puede concluir que el principal servicio proporcionado por la playa es el de recreación, multiplicando por más de 5 el valor del servicio de protección, y que el valor total de la playa se estima en más de 57,7 millones de USD anuales, 0,97 millones de USD anuales por hectárea.

4.1.2 Exposición física

Para el estudio de la erosión costera en la playa de la Atlántida, se considera tanto el transporte longitudinal como el transversal. Para ello, la playa se ha dividido en un total de 28 transectos que delimitan 27 celdas litorales, (Figura 21). El transporte longitudinal se evalúa en las celdas longitudinales mediante un modelo one-line, mientras que el transporte transversal se evalúa en los transectos que delimitan las celdas litorales mediante un modelo de equilibrio al que se incluye la contribución del ANMM.



Figura 21. Transectos de estudio en la playa de Atlántida

Se ha definido un ancho potencialmente erosionable de playa igual al ancho de playa seca, más la mitad del ancho del campo de dunas. Los rangos de los parámetros morfológicos utilizados en la caracterización física de la playa son los siguientes:

- Orientación respecto al norte: [156° - 189°]
- Pendiente de la zona de rompientes: 0,017
- Tamaño de sedimento (D50): 0,23 milímetros
- Ancho de playa seca: [0 - 59] metros
- Ancho de campo de dunas: [0 - 90] metros

4.2 Peligrosidad

En este estudio, la evolución de la línea de costa en la playa de Atlántida 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.

La playa objeto de estudio es rectilínea y su estabilidad está condicionada por la continuidad del transporte de sedimento en la unidad fisiográfica. El modelado riguroso de la zona objeto de estudio requeriría el uso de modelos numéricos de área 2DH que consten de un módulo hidrodinámico acoplado a un módulo de transporte y de evolución de la batimetría. Se deberían incluir en el modelado la interacción ola-corriente, los aportes fluviales y condiciones de contorno realistas. Este tipo de modelos requieren datos de observaciones para fijar las condiciones de contorno y para calibrar los diferentes parámetros libres de las formulaciones. Por otro lado, el coste de cómputo es

elevado, lo que unido a que el modelado de la recuperación de la playa tras temporales está aún en desarrollo, hace inviable la aplicación de este tipo de modelos en la escala temporal del cambio climático. Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo utilizado representa el mejor compromiso entre la escala espacio-temporal del estudio, los procesos considerados y el tiempo de cálculo.

En las playas de Atlántida, el sentido medio anual del transporte longitudinal (Figura 22) es de este a oeste, como ya indicaba la flecha de la desembocadura del arroyo Solís Chico, que evoluciona de este a oeste, y un volumen anual medio de aproximadamente 40.000 m³/año. Se aprecia una variabilidad temporal, que se relaciona con la variabilidad temporal de la altura de ola (Figura 23). El mayor transporte longitudinal se produce en el año 2016, donde se aprecia es cuando se tienen alturas de ola elevadas durante más tiempo.

Este transporte se ha estimado utilizando una formulación de transporte potencial (Van Rijn, 2014), que se ha calibrado en base al volumen de sedimento observado en las imágenes de satélite de 2019 y 2006.

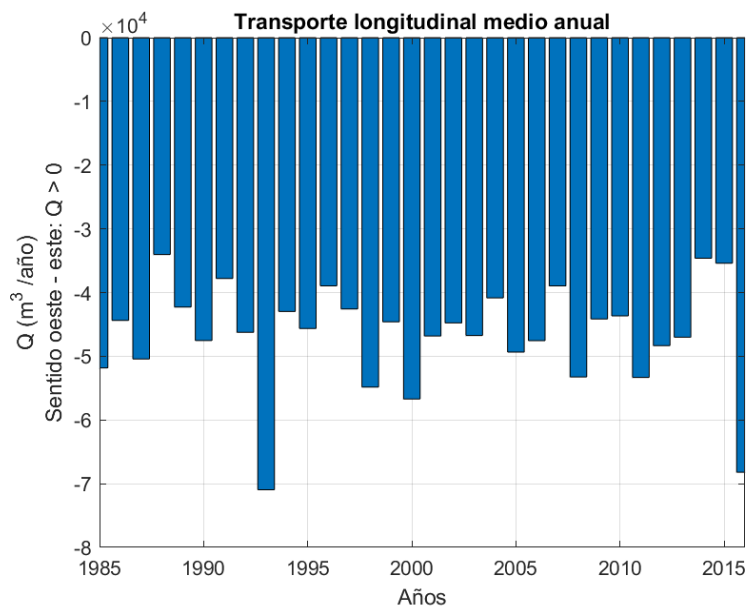


Figura 22. Transporte longitudinal medio anual en la zona oeste de la zona de playa de Atlántida.

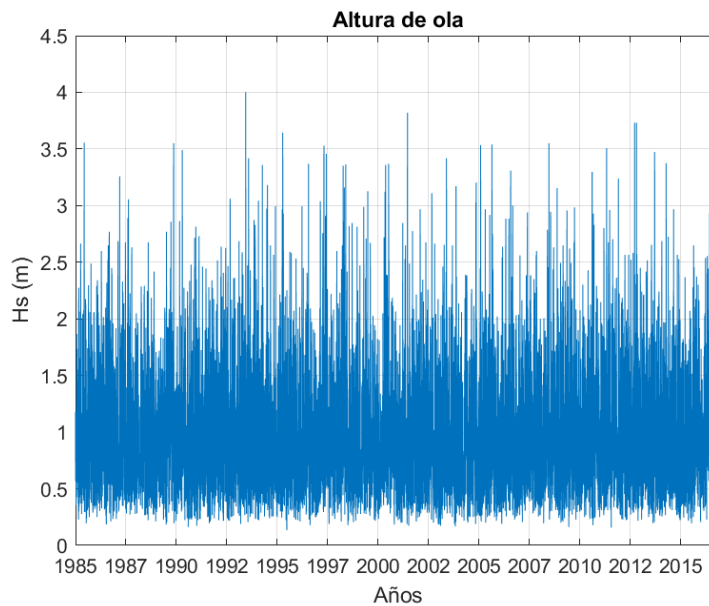


Figura 23. Serie temporal de altura de ola significativa en rotura en la zona oeste de la zona de playa de Atlántida.

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 (Tabla 4), que se ha definido como el retroceso permanente de la playa debido al ANMM, y, por otro, se han obtenido las áreas erosionadas en horizontes temporales asociados a diferentes periodos de retorno.

En la Figura 24 se representa el retroceso estructural de la línea de costa en 2050 y 2100 debido al ANMM y la incertidumbre asociada. Como se puede observar en la figura, en las zonas limitadas por infraestructuras la playa se erosiona totalmente, y en las zonas de playa con campo de dunas queda un margen de playa entre la rambla y la línea de costa futura. En la zona oeste de la playa, donde no existe playa seca, las líneas de costa inicial y futuras se superponen.

En la Figura 25 se representa una imagen ampliada de la zona de estudio en la que se aprecia que la línea de costa en el horizonte 2100 bajo un escenario RCP8.5 alcanza el campo de dunas. En el horizonte 2100 (RCP8.5) únicamente se mantiene una pequeña porción de playa situada al este, donde la anchura de playa seca es mayor por el aporte de sedimentos del arroyo Solís Chico.



Figura 24. Retroceso estructural de la línea de costa debido al ANMM en 2050 y 2100 en las playas de Atlántida. 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.



Figura 25. Retroceso estructural de la línea de costa debido al ANMM en 2050 y 2100 ampliado en Playa Pinares. 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.

Se ha establecido una frontera no erosionable a partir de la anchura de la playa seca hasta la mitad de la anchura del campo de dunas. De este modo, los retrocesos obtenidos con el modelo de erosión se han limitado a la anchura máxima erosionable.

A partir de los retrocesos de la línea de costa calculados en las celdas litorales (Tabla 4), se ha estimado el área de playa erosionada debido al ANMM, en 2050 y 2100 La superficie erosionada debido al ANMM se considera como superficie de playa no recuperable, ya que, la playa no puede adaptarse a las nuevas condiciones de dinámicas y retranquearse hacia el interior

En la Tabla 4 se muestra el retroceso estructural medio en la playa de Atlántida. Se aprecia que el retroceso ligado al ANMM en el año 2050 se encuentra en un intervalo entre 8,18 y 11,05 metros, mientras que en el año 2100 (RCP8.5), la playa se erosionaría por el ANMM de entre 28,23 y 39,09 metros.

Tabla 4. Retroceso estructural (m) de la línea de costa debido al ANMM en la playa de Atlántida

Retroceso estructural (metros)	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
	8,18	9,61	11,05	20,31	24,00	27,69	28,23	33,66	39,09

En la Tabla 5 se recoge la superficie erosionada debido al retroceso estructural de la línea de costa, estimada a partir de los retrocesos obtenidos en las celdas litorales. En 2050 se espera una pérdida permanente de la superficie de playa entre 31.759 y 42.905 m², mientras que en 2100 puede llegar hasta 148.636 m² (44% del total de la playa). La superficie erosionada debido al ANMM se considera como superficie de playa no recuperable, ya que, la playa no puede adaptarse a las nuevas condiciones de dinámicas y retranquearse hacia el interior.

Tabla 5. Área erosionada (m²) debido al ANMM en la playa de Atlántida

Área erosionada (m ²)	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
	31.759	37.338	42.905	79.166	93.542	107.915	110.048	130.072	148.636

En la Tabla 6 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). Mientras que, en el presente, un evento usual de 5 años de periodo de retorno origina erosiones del 8% de la superficie de playa; el mismo evento en el año 2100 RCP8.5 originaría un valor esperado de pérdida de un tercio de la superficie de la playa.

Tabla 6. Área erosionada (m²) asociada a distintos periodos de retorno en la playa de Atlántida

Área erosionada (m ²)	Presente	2050			2100 RCP4.5			2100 RCP8.5		
		P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%	P5%	Media	P95%
Tr=5	27.464	57.090	64.975	72.910	90.983	106.389	121.628	106.063	123.364	139.564
Tr=10	34.888	68.086	76.645	85.321	104.777	121.314	136.766	124.960	144.310	162.326
Tr=25	44.266	81.901	91.237	100.794	119.143	135.515	150.869	144.506	166.084	183.946
Tr=50	51.221	92.094	101.953	112.126	127.290	143.701	158.899	156.481	178.790	195.113
Tr=100	58.124	102.164	112.501	122.781	134.220	150.258	165.178	166.802	187.771	202.866
Tr=500	74.071	124.590	134.876	145.289	146.116	161.362	175.192	183.535	202.161	212.954

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 las playas de Atlántida.

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 0,4 y 2,9 millones de USD anuales para eventos extremos de periodos de retorno entre los 5 y los 500 años de periodo de retorno (Tabla 7).

Tabla 7. 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	396.956	640.559	1.031.198	1.380.718	1.777.937	2.887.340	200.298
2050	Percent. 5%	1.715.224	2.439.635	3.530.090	4.463.387	5.492.918	8.169.015	742.721
	Valor medio	2.221.783	3.091.506	4.380.687	5.470.231	6.660.626	9.573.554	936.109
	Percent. 95%	2.797.516	3.831.008	5.346.588	6.616.349	7.933.520	11.108.937	1.155.054
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	4.356.330	5.777.469	7.470.307	8.526.923	9.480.635	11.235.695	1.672.632
	Valor medio	5.956.538	7.745.042	9.664.464	10.867.417	11.881.761	13.702.753	2.224.421
	Percent. 95%	7.785.201	9.843.696	11.978.469	13.287.653	14.358.558	16.152.289	2.827.565
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	5.920.177	8.217.564	10.989.414	12.886.278	14.642.292	17.727.200	2.380.992
	Valor Medio	8.008.993	10.959.672	14.516.345	16.822.523	18.555.034	21.507.861	3.164.141
	Percent. 95%	10.250.702	13.866.937	17.806.800	20.034.433	21.658.207	23.865.737	3.950.136

Estas cantidades se verán incrementadas con los efectos del cambio climático, de tal forma que los 0,4 millones que se experimentan en el presente para eventos de periodo de retorno de 5 años se multiplicarán por más de 25, sobrepasando los 10 millones de USD anuales, en el peor de los escenarios posibles, y que los 2,9 millones de un periodo de retorno de 500 años en la actualidad podrán multiplicarse por 8, llegando a alcanzarse daños por valor de 24 millones de USD anuales.

Tabla 8 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%	530,820
	Valor medio	733,679
	Percent. 95%	968,747
2100 (RCP4.5)	Percent. 5%	3,298,267
	Valor medio	4,604,871
	Percent. 95%	6,128,643
2100 (RCP8.5)	Percent. 5%	6,373,353
	Valor medio	8,903,758
	Percent. 95%	11,626,512

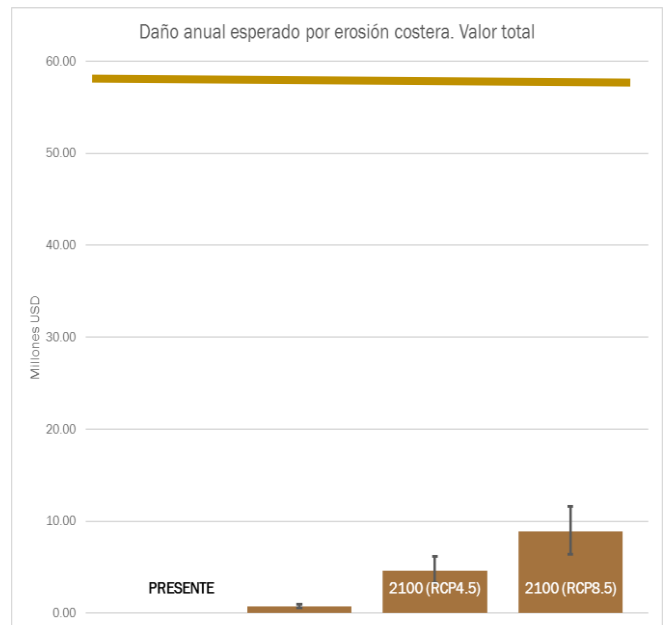
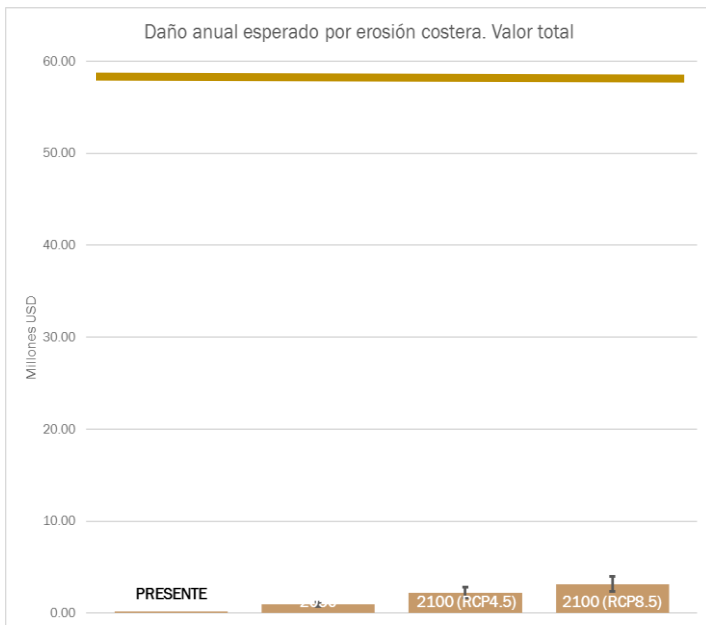


Figura 26. Daño anual esperado por erosión sobre el valor total de la playa (obtenido de los servicios de protección y recreativo proporcionados por la playa). La figura de la izquierda representa el daño por eventos extremos de erosión, mientras que la figura de la derecha el daño por el retroceso estructural. En ambos casos, la línea continua representa el valor total anual de la playa.

El daño anual esperado, actualmente en el entorno de los 200.000 USD anuales, se multiplicará por 4,5 para el año 2050 (hasta los 940.000 USD anuales) y al menos se multiplicará por 8 para el año 2100 (1,6 millones de USD anuales en el mejor de los escenarios).

Además de esta variación en las consecuencias que se experimentarán por los efectos del cambio climático, la erosión estructural que sufrirán las playas de Atlántida debido al ANMM (Tabla 8) añadirá un daño extra que se prevé alcance los 730.000 USD anuales en 2050 y que variará entre los 3 y los 11,6 millones de USD anuales en 2100, por lo que es la aparición de esta erosión estructural la que realmente introduce una componente de riesgo importante, con respecto a las consecuencias debidas a eventos extremos.

El valor acumulado de estos daños desde el presente hasta el año (2050), se estima en unos 5,38 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 6,47 millones de USD si la tasa de descuento es del 3% y los 4,51 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 18,83 millones de USD para el escenario RCP4.5, y puede llegar a alcanzar los 28,59 millones de USD en el escenario RCP8.5 (en ambos casos, percentil 50%, tasa de descuento del 4%)

5 CONCLUSIONES

La zona de estudio de Atlántida agrupa una serie de playas urbanas ubicadas en la ciudad de mismo nombre en la Intendencia de Canelones. En concreto se analizan (de oeste a este) las playas Mansa, Brava, Pinares, de las Toscas y Parque del Plata. La zona de estudio tiene aproximadamente 6.500 metros de longitud, predominando una playa de forma rectilínea gobernada por la dirección del flujo medio del oleaje en la zona.

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:

- Los temporales alcanzan y erosionan las dunas primarias de la plata, como evidencian los escarpes y erosiones en el pie de duna.
- La desembocadura del arroyo Solís Chico supone un confinamiento parcial al transporte de arena. La flecha de la desembocadura ha crecido aproximadamente 825 metros en los últimos 13 años.
- El transporte de sedimento en la zona es de este a oeste.
- Los espigones ubicados en la playa de la Floresta condicionan la estabilidad de las playas de la zona de estudio, ya que reducen el transporte de sedimento.
- En la playa Águilas hay ausencia de playa seca, lo que indica un déficit de aporte de sedimentos.

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 las playas de Atlántida 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 zona de estudio de Atlántida no tiene riesgo potencial de inundación costera, ni en el presente ni en el futuro. Los mapas de inundación obtenidos para cotas de inundación de distintos eventos extremos no generan afección sobre la población ni sobre los activos construidos. Esto no implica que no puedan producirse inundaciones en la zona (como las que ya se han experimentado en el pasado), pero serán debidas a otros fenómenos distintos de los procesos meteocéánicos considerados en este estudio (p.ej., precipitaciones extremas acompañadas de carencias o mal funcionamiento de sistemas de drenaje).

- Riesgo de erosión costera

El principal servicio proporcionado por las playas de Atlántida es el de recreación, multiplicando por más de 5 el valor del servicio de protección, y que el valor total de las playas se estima en más de 57,7 millones de USD anuales, 0,97 millones de USD anuales por hectárea.

ENTREGABLE 4.3. CASOS PILOTO. ATLÁNTIDA

Se ha estimado un retroceso estructural de las playas de Atlántida en el año 2050 se encuentra en un intervalo entre 8,2 y 11,1 metros, y de 20,3 y 39,1 metros en 2100 (RCP8.5). Este retroceso se ha traducido en un daño que se prevé alcance los 0,7 millones de USD anuales en 2050 y que variará entre los 3 y los 11,6 millones de USD anuales en 2100.

El valor acumulado de estos daños desde el presente hasta el año (2050), se estima en unos 5,38 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 6,47 millones de USD si la tasa de descuento es del 3% y los 4,51 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 18,83 millones de USD para el escenario RCP4.5, y puede llegar a alcanzar los 28,59 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.

Van Rijn, L.C. (2014). A simple general expression for longshore transport of sand, gravel and shingle. Coastal Engineering, 90, pp. 23 – 39.